

Rosenberg, Carolina Elena

Estrategias para mejorar la comprensión del proceso de replicación del ADN en alumnos de la Escuela Secundaria

Tesis presentada para la obtención del grado de Especialista en Educación en Ciencias Exactas y Naturales

Directora: Legarralde, Teresa

CITA SUGERIDA:

Rosenberg, C. E. (2014). *Estrategias para mejorar la comprensión del proceso de replicación del ADN en alumnos de la Escuela Secundaria [en línea]. Trabajo final de posgrado. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. En Memoria Académica. Disponible en:*
<http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.991/te.991.pdf>

Documento disponible para su consulta y descarga en **Memoria Académica**, repositorio institucional de la **Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación (FaHCE)** de la **Universidad Nacional de La Plata**. Gestionado por **Bibhuma**, biblioteca de la FaHCE.

Para más información consulte los sitios:

<http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar>

<http://www.bibhuma.fahce.unlp.edu.ar>



Esta obra está bajo licencia 2.5 de Creative Commons Argentina.
Atribución-No comercial-Sin obras derivadas 2.5

Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación- UNLP



Trabajo final de integración

Especialización en la Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

**Título: Estrategias para mejorar la comprensión del proceso de replicación del ADN
en alumnos de la Escuela Secundaria**

Autor: Dra. Carolina Rosenberg

Director del Trabajo: Mag. Teresa Legarralde

Co- Director del Trabajo: Mag. Alfredo Vilches

Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación

Universidad Nacional de La Plata

2014

RESUMEN

Teniendo como hipótesis que la representación gráfica de la replicación del ADN utilizada habitualmente genera una comprensión inadecuada del proceso, y que la utilización de una representación alternativa que sitúa las horquillas en el interior de una o varias burbujas de replicación mejora la comprensión del proceso, se presenta una secuencia de estrategias de enseñanza con el objetivo de contribuir a la mejor comprensión del proceso de replicación del ADN.

Palabras clave: Replicación del ADN, errores conceptuales, horquillas de replicación, interpretación de gráficos.

ABSTRACT

Bearing the hypothesis that the graphic representation of DNA replication usually used in Biology lessons leads to a misunderstanding of the replication process, and that the use of an alternative representation, which is a replication burble, including the forks inside the burbles, takes to a better understanding of the molecular process, an alternative teaching strategy is developed, with the aim of improving the understanding of the DNA replication.

Key Words: AND replication, misconceptions, replication forks, interpreting graphs.

A Gregorio y Julieta, los dos soles que iluminan mi vida día a día.

AGRADECIMIENTOS

A Teresa Legarralde y Alfredo Vilches, por su apoyo constante, sus correcciones exhaustivas y sobre todo por su enorme calidez humana.

A los alumnos que cursaron Genética durante el año 2012 en el Colegio Nacional “R. Hernandez”, quienes fueron la población sobre la que se realizó este trabajo.

A Rita Santos, que me acompañó desinteresadamente y con gran entusiasmo en la implementación de la secuencia didáctica.

A mis compañeros de la carrera de especialización, con quienes disfruté volviendo al maravilloso estado de ser estudiante.

A los profesores de la carrera de especialización, quienes me acompañaron a conocer nuevos contenidos, nuevos caminos y formas de abordar el desafiante mundo de la enseñanza y el aprendizaje.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
Fundamentos de la elección del tema.....	2
Objetivos de la propuesta.....	6
METODOLOGÍA	7
Población con la que se desarrolló la propuesta	8
Secuencia didáctica implementada.....	9
Desarrollo de la secuencia didáctica	11
Etapas de exploración	11
Etapas de investigación guiada.....	11
Etapas finales: proyecto final de síntesis.....	15
Evaluación diagnóstica continua	17
Análisis de la información obtenida	19
RESULTADOS	23
CONCLUSIONES	37
CONSIDERACIONES FINALES. PROSPECTIVA.....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXOS.....	44

INTRODUCCIÓN

En la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias Naturales se acude con frecuencia a numerosos recursos simbólicos mediante sistemas de representación externa tales como enunciados, diagramas, ilustraciones, gráficas cartesianas, ecuaciones, etc. En ellos, los estímulos visuales, textuales y gráficos son significantes que dotan de sentido al objeto representado (Maturano, Aguilar y Nuñez, 2008).

En la práctica, la enseñanza de contenidos relativos a las células y los procesos que ocurren en ellas son complejos y problemáticos tanto para su enseñanza como para su aprendizaje, y, por esa razón, los recursos didácticos que incluyen imágenes externas (*e.g.*, dibujos, esquemas, gráficas y fotografías) ocupan un papel importante debido a la naturaleza de su contenido, ya que permiten mostrar hechos, fenómenos y estructuras que no pueden observarse directamente. Aún así, si bien es cierto que las imágenes pueden cumplir funciones específicas facilitando la comprensión de determinados conceptos (Diez Escribano y Caballero Sahelices, 2004), en algunas ocasiones la representación de los mismos puede funcionar como obstáculo para la comprensión del funcionamiento de los seres vivos, necesitándose, por tanto, más investigación respecto a su utilización y eficacia (Rodríguez Palmero, 2000). Galagovsky, Di Giacomo y Castelo (2009), concluyen que es necesario incrementar el número de investigaciones dedicadas al estudio de problemas de aprendizaje en ciencias derivados de fallas en la comunicación entre los modelos mentales de docentes y estudiantes y las implicancias que la necesaria utilización del lenguaje impone en tales fallas. Tal como expresan estos autores, si el conocimiento está en las mentes de los sujetos y “no se ve”, para que en una clase ocurra comunicación, esos conocimientos deben transformarse en información explícita de tal forma de fluir interactivamente entre la mente del docente (experto) y la de los estudiantes. Explicitar un conocimiento implica utilizar diversos lenguajes, constituyendo éstos las interfases de una cadena de comunicación. Los investigadores agregan que la presentación de información a los estudiantes, ya sea en forma de dibujos, maquetas tridimensionales, textos, fórmulas o cualquier combinación de recursos didácticos, no garantiza que ellos automáticamente construyan en sus mentes modelos mentales idénticos a los de los expertos que construyeron tales dispositivos didácticos. Aceptando la idea de que cualquier

representación concreta expresa sólo una pequeña parte de lo que tienen en sus mentes como modelos los expertos que las crearon, se advierten las dificultades con las que podrán enfrentarse los estudiantes cuando se les presenta información gráfica esperando que ésta funcione como “modelo”. Si se analiza la manera en que los estudiantes interactúan con los discursos explícitos de los docentes es posible descifrar la formación de obstáculos epistemológicos para la comprensión de determinados contenidos (Galagovsky *et al.*, 2009).

Para Perales López y Romero Barriga (2005), la alfabetización visual es crucial en la comprensión y la retención de imágenes, pero, según estos autores, los docentes tienden a pensar equivocadamente que la interpretación de las imágenes depende de habilidades intuitivas, insertas de forma natural en los sistemas de procesamiento visual.

En una exhaustiva revisión bibliográfica acerca de la enseñanza de la Biología y la investigación en el estudio de la célula, Rodríguez Palmero (2000) menciona que diversos autores trataron como objeto de estudio las imágenes desde diferentes ángulos; unos refiriéndose a la forma en la que se procesan, otros a su papel en los procesos de aprendizaje, la capacidad de interpretarlas, el efecto de las mismas cuando se incluyen en los materiales curriculares (*e.g.*, libros de texto), y la influencia de diferentes variables en su percepción. Abordaron por tanto, la imagen en general, bien como recurso externo o bien desde una perspectiva interna, mental. Por otro lado, otros autores (D'Aquino Rosa y Mohr, 2010; Pérez de Eulate, Llorente y Andrieu, 1999) han mostrado que los libros de texto pueden ser transmisores de errores en la comprensión de determinados conceptos o procesos, detectándose al menos tres problemas básicos relativos a las imágenes en los textos: errores anatómicos y fisiológicos, ausencia de informaciones relevantes y ambigüedades y deficiencias gráficas.

Fundamentos de la elección del tema

En función de lo expresado y sobre la base de la experiencia de la autora de este trabajo en la práctica docente en el nivel secundario y universitario de pregrado y grado, se han detectado en los estudiantes, importantes dificultades para la comprensión de los procesos moleculares que se llevan a cabo en el interior de las células; para el caso particular de la replicación del ADN (Ácido Desoxirribonucleico), se destaca la persistencia de

determinados errores conceptuales, tales como la interpretación errónea del modo de síntesis de cada nueva cadena de ADN. Esto podría estar relacionado con la manera inadecuada en que se interpretan los esquemas y figuras de la horquilla de replicación del ADN, que son usualmente utilizados por los docentes durante el desarrollo de estos temas en las clases de Biología. Asimismo, otra de las dificultades que se presenta más frecuentemente es que al observar la representación de la horquilla de replicación, ya sea en los libros de texto o en una clase, los alumnos no logran ubicarla en su contexto, y de este modo les resulta muy difícil localizar los orígenes de replicación de manera correcta e interpretar la composición de los telómeros de los cromosomas eucariotas. Esto se traduce en dificultades para resolver cuestionarios y problemas en trabajos prácticos, así como en evaluaciones escritas y orales.

A modo de ejemplo, en la Figura 1 (A, B, y C) se muestran imágenes de tres libros utilizados de manera corriente tanto en los niveles de pregrado como de grado (Curtis, Barnes, Schneek y Massarini, 2008; Purves, Sadava, Orians y Heller, 2002; Campbell y Reece, 2007). En las Figuras 1A y 1B (Curtis *et al.*, 2008; Purves *et al.*, 2002), se mencionan y se esquematizan las burbujas de replicación, sin embargo cuando los autores desarrollan la explicación del proceso de la replicación lo hacen mostrando horquillas aisladas. Sólo en el caso observado en la Figura 1C (Campbell y Reece, 2007) se encuadran y ubican las horquillas dentro de una burbuja de replicación.

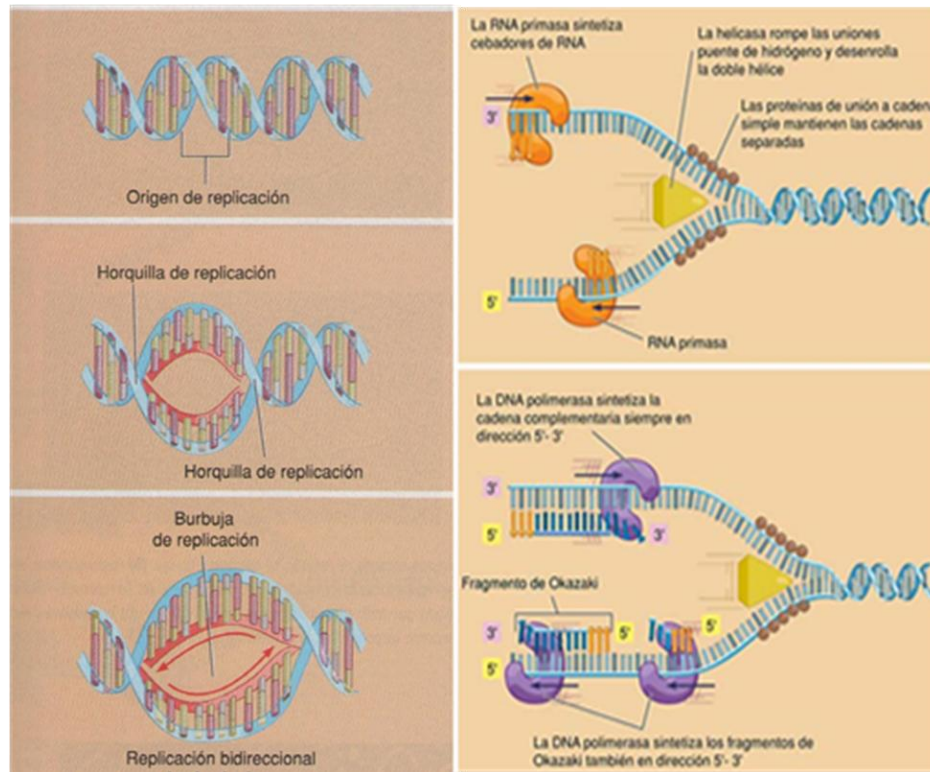


Figura 1A. Representación de una burbuja y una horquilla de replicación, imágenes extraídas de Curtis *et al* (2008).

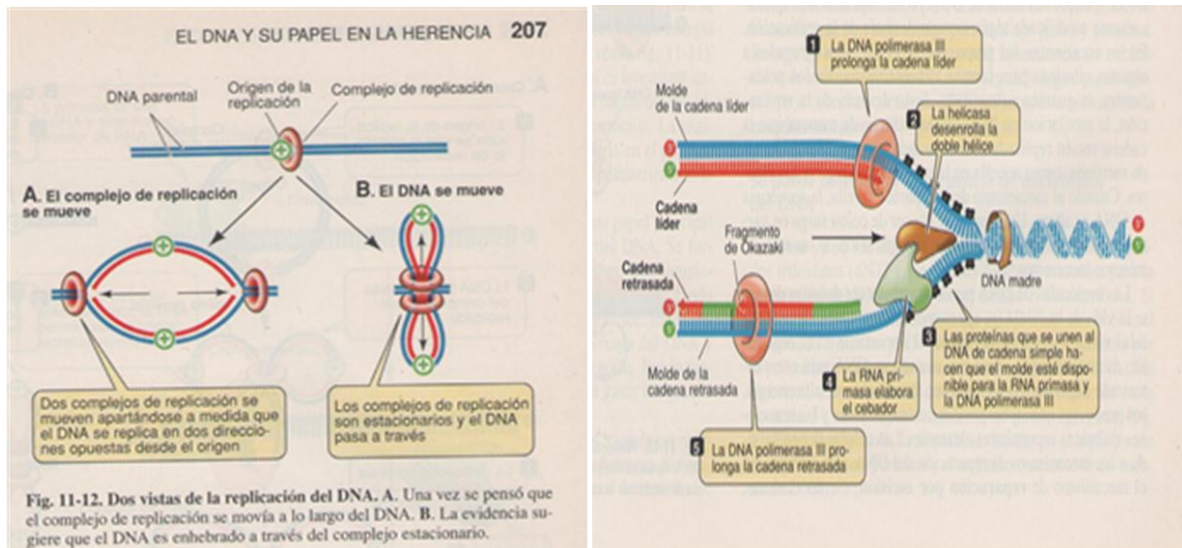


Figura 1B. Representación de una burbuja y una horquilla de replicación, imágenes tomadas de Purves *et al* (2002).

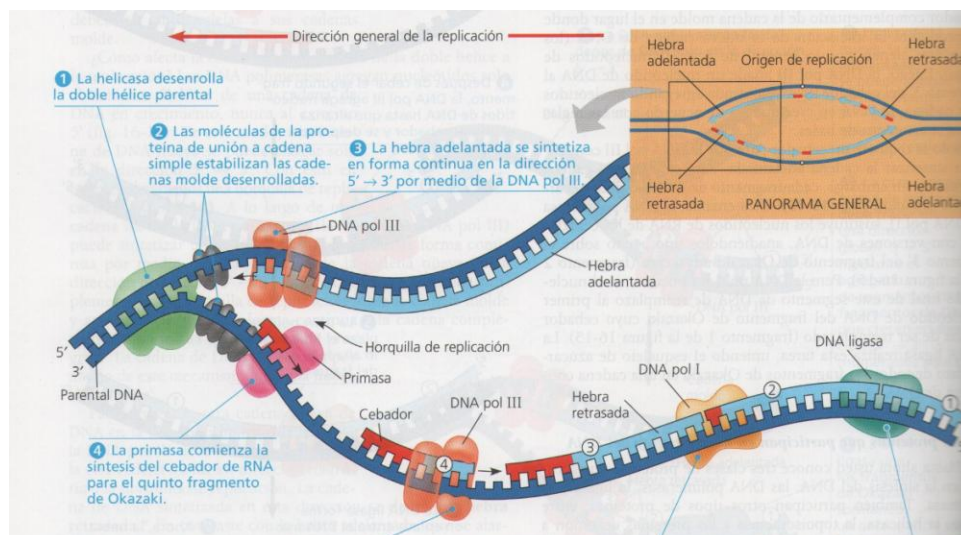


Figura 1C. Representación de una burbuja y una horquilla de replicación, imagen extraída de Campbell y Reece (2007).

En ese contexto, resulta de interés desarrollar propuestas tendientes a facilitar los procesos de aprendizaje del mecanismo de replicación del ADN, que contribuyan a una adecuada comprensión de estos contenidos tan complejos y abstractos. En relación con lo expresado, surgen interrogantes como ¿Los gráficos utilizados como herramienta didáctica, colaboran con la comprensión del proceso o la entorpecen? ¿Los docentes de Biología utilizan los gráficos adecuadamente para lograr que los alumnos los interpreten de manera correcta? ¿La utilización de gráficos alternativos puede colaborar en una mejor comprensión del proceso molecular en estudio?

Las respuestas a esas preguntas requieren definir el modo en que los estudiantes comprenden el proceso e identificar los tipos de gráficos que contribuyen a una mejor comprensión y aquellos que la dificultan. Además requiere estrategias que posibiliten una mejor comprensión de estos procesos.

El análisis de la bibliografía relacionada al tema que se propone investigar muestra que, si bien se han analizado diversas herramientas didácticas, como por ejemplo el tipo de gráficos utilizados para la enseñanza de los conceptos de gen y cromosoma (Diez Escribano y Caballero Sahelices, 2004), no se han encontrado antecedentes de estudios similares al que se presenta; en consecuencia, se plantea la necesidad de investigar, desarrollar e implementar estrategias didácticas adecuadas, con el objeto de evaluar su pertinencia y

aporte en relación a la mejora de los procesos de enseñanza y de aprendizaje de temas tan complejos como los que aquí se abordan.

Sobre la base de lo planteado, surgen las **hipótesis** que guían dicha propuesta; las mismas se presentan a continuación:

- La representación gráfica de la replicación del ADN utilizada habitualmente (horquillas de replicación), genera una comprensión inadecuada del proceso.
- La utilización de una representación alternativa que sitúa las horquillas en el interior de una o varias burbujas de replicación mejora la comprensión del proceso.

Objetivos de la propuesta

- Diseñar estrategias de enseñanza que favorezcan el aprendizaje del proceso de replicación del ADN.
- Contribuir a una comprensión adecuada de este proceso a través del uso de gráficos que incluyan las dos horquillas de replicación en el interior de una burbuja de replicación.

METODOLOGÍA

La presente propuesta didáctica tiene como marco de referencia la Enseñanza para la Comprensión (EpC). La visión del aprendizaje para la comprensión tiene un giro constructivista, desafiando la idea del aprendizaje como información concentrada, replanteando el rol del docente, y poniendo como eje central los esfuerzos del estudiante por construir su propia comprensión. Este marco conceptual está fundado en la definición de la comprensión como desempeño flexible y creativo, de tal manera, la comprensión siempre entraña invención personal, nunca puede ser simplemente transmitida de un generador a un receptáculo sino que debe ser construida a partir de la propia experiencia y del trabajo intelectual del estudiante. Sólo si los estudiantes han comprendido los nuevos conceptos abordados, serán capaces de explicar, justificar, extrapolar, vincular y aplicarlos de maneras que vayan más allá del conocimiento y la habilidad rutinaria (Blythe, 1999; Pogré y Lombardi, 2004; Fiore Ferrari y Leymon  Sáenz, 2007; Manuale, 2007; Stone Wiske, 1999).

El Proyecto Cero¹ de la Escuela de Graduados en Educación de la Universidad de Harvard ha desarrollado líneas de investigación cuyo objetivo es mejorar la enseñanza, desde dentro y fuera de las instituciones educativas. Una de esas líneas de trabajo es la EpC, dentro del cual se ubica el Proyecto L@titud que promueve diversas actividades para el mejoramiento de la comprensión en Latinoamérica, estimulando el desarrollo de recursos humanos expertos y de líderes regionales, generando comunidades de profesionales para el sostenimiento e intercambio de experiencias educativas. En este contexto, la comunidad educativa del Colegio Nacional “Rafael Hernández” de la Universidad Nacional de La Plata, es capacitada por profesionales de ese equipo desde el año 2004. En función de ello, los docentes del Departamento de Ciencias Biológicas reformularon sus prácticas en coherencia con el Proyecto Institucional, desarrollando proyectos innovadores, tendientes a generar mayor motivación y comprensión en los estudiantes.

La EpC considera que un marco conceptual guía debe abordar cuatro preguntas clave:

¹ <http://www.pz.harvard.edu>

1. ¿Qué tópicos vale la pena comprender?
2. ¿Qué aspectos de esos tópicos deben ser comprendidos?
3. ¿Cómo podemos promover la comprensión?
4. ¿Cómo podemos averiguar lo que comprenden los alumnos?

En la presente propuesta estos interrogantes se abordaron considerando los cuatro conceptos básicos de la EpC: a) los *tópicos generativos*, b) las *metas de comprensión*, c) los *desempeños de comprensión* y d) la *evaluación diagnóstica continua*.

En esta secuencia didáctica, se toma un *hilo conductor*, que será el eje alrededor del cual se desarrollan cada una de las preguntas clave, definiendo qué vale la pena comprender, identificando tópicos o temas generativos y organizando propuestas curriculares alrededor de ellas; se clarifica lo que los estudiantes tienen que comprender articulando metas claras centradas en comprensiones clave; se motiva el aprendizaje de los alumnos, involucrándolos en desempeños de comprensión que exigen que éstos apliquen, amplíen y sintetizen lo que saben, y se controla y promueve el avance de los estudiantes por medio de evaluaciones diagnósticas continuas de sus desempeños, con criterios directamente vinculados con las metas de comprensión (Stone Wiske, 1999).

Población con la que se desarrolló la propuesta

Los estudiantes que formaron parte de este trabajo, fueron 25 alumnos que cursaron Biología Celular y Molecular en la Escuela Secundaria del Colegio Nacional “R. Hernández”, dependiente de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), durante el año 2012. La misma es una asignatura optativa correspondiente al sexto año del ciclo Superior, tiene una carga horaria de cinco horas cátedra semanales de 40 minutos cada una, distribuidas en dos días (tres y dos horas cátedra respectivamente).

Atendiendo a las finalidades de esta propuesta se dividió a los alumnos en dos grupos de trabajo (1 y 2), con los cuales se desarrollaron estrategias de enseñanza diferentes, en el marco de las hipótesis planteadas.

El grupo 1 (n=12) fue el grupo control, con el que se trabajó según el modo habitual, es decir, abordando el estudio del proceso de replicación del ADN utilizando la representación de una horquilla de replicación aislada, tal como frecuentemente se esquematiza en las clases de Biología y en la mayoría de los libros de texto (Figura 2).

Con los alumnos del grupo 2 (n=13), en la cuarta clase de la secuencia didáctica, se implementó una estrategia de enseñanza alternativa tendiente a mejorar el aprendizaje del proceso de replicación del ADN.

Secuencia didáctica implementada

Como se mencionó, se propuso una estrategia tendiente a mejorar la comprensión del proceso de replicación del ADN, utilizando (en el grupo 2), representaciones alternativas que favorezcan la comprensión de esos contenidos. El *hilo conductor* fue comprender la complejidad de los sistemas biológicos, y la manera en que fluye la información genética en los seres vivos. Dentro de los contenidos que se desarrollan a lo largo de la primera unidad de la asignatura se incluyen “las biomoléculas o moléculas de la vida”, entre ellas, los ácidos nucleicos, cuyo abordaje previo resulta necesario para comprender el proceso de replicación del ADN.

La *meta de comprensión* para esta selección de contenidos fue que los alumnos comprendan la estructura de la molécula del ADN y su relación con el proceso de replicación y de división de las células.

Los *tópicos generativos*, que generalmente se expresan en una forma interrogativa y en un estilo coloquial, permitieron a los estudiantes establecer múltiples relaciones entre los diferentes temas y su propia vida, generando un auténtico interés por conocerlos.

Algunos de los tópicos generativos presentados en este trabajo fueron:

- ¿Qué relación tiene el ADN con la identidad de las personas?
- ¿Cuál es la relación entre la división celular y el cáncer?

Atendiendo las recomendaciones de Stone Wiske (1999), las actividades se desarrollaron en tres etapas, siguiendo una progresión de complejidad y comprensión crecientes.

1) Etapa de exploración

En esta primera etapa se promovió un acercamiento de los alumnos a los temas centrales o tópicos generativos definidos a los fines de este trabajo. Ellos pudieron involucrarse con el

tema a desarrollar, independientemente de su nivel anterior de comprensión. Las actividades propuestas contribuyeron a que los estudiantes establecieran conexiones entre los tópicos generativos y sus propios intereses así como con sus experiencias previas. Este período de indagación aportó información relativa a lo que los alumnos conocían y a aquello que estaban interesados en aprender.

2) Etapa de Investigación guiada

Los desempeños de investigación guiada son las actividades de comprensión que involucran a los alumnos en la utilización de ideas o modalidades de investigación centrales para la comprensión de las metas identificadas.

A medida que los alumnos desarrollaron la comprensión de metas preliminares por medio de desempeños iniciales, se involucraron en formas más complejas de investigación. En esta etapa las orientaciones que el docente ofreció durante el progreso del trabajo ayudaron a los alumnos a aprender cómo aplicar conceptos y métodos disciplinarios, a integrar su creciente cuerpo de conocimientos y a poner en práctica una comprensión cada vez más compleja y sofisticada de las temáticas abordadas.

3) Etapa final: proyecto final de síntesis

Los proyectos finales de síntesis pueden ser similares a los proyectos y exposiciones que muchos docentes asignan como tareas finales para completar una unidad curricular. Su rasgo distintivo en el marco conceptual de la EpC es que demuestran con claridad el dominio que tienen los alumnos de las metas de comprensión establecidas. Tales desempeños necesariamente invitan a los alumnos a trabajar de manera más independiente de como lo hicieron en sus desempeños preliminares y a sintetizar las comprensiones que han adquirido a lo largo de una unidad curricular o de una serie de unidades.

Desarrollo de la secuencia didáctica

Etapas de exploración

El tiempo destinado para el desarrollo de esta etapa fue de una clase (Clase 1, dos horas cátedra).

Con la intención de indagar lo que los alumnos conocían acerca de la temática, se promovió un debate inicial en el que se rastrearon los conocimientos previos relacionados al Proyecto Genoma Humano, los análisis o pruebas de ADN y las pruebas de filiación. Se consultó la página web del Equipo Argentino de Antropología Forense (<http://www.sdh.gba.gov.ar/areas/eaaf.php>) y se analizaron artículos periodísticos (Anexo I).

Luego de la lectura y la consulta en internet se generó un debate en pequeños grupos en torno a los siguientes cuestionamientos:

- a) Cuando en un texto se indica que determinada persona debe realizarse una prueba de ADN... ¿Qué significado tiene esto para ustedes? ¿Qué interpretación hacen al respecto?
- b) En función de lo que ustedes conocen, o que se desprende de los textos: ¿Para qué se han utilizado las pruebas de ADN en los últimos años de nuestra historia?
- c) ¿Consideran que la población está lo suficientemente informada al respecto?

Al finalizar con la actividad propuesta, un representante de cada grupo expuso las ideas discutidas y consensuadas con sus compañeros, generándose así una instancia de debate en plenario. Las conclusiones a las que se arribó y las ideas generales que surgieron de esta discusión, se registraron en un papel afiche, con el objeto de utilizarlas en las clases posteriores.

Etapas de investigación guiada

Para esta etapa se destinaron 6 clases (Clases 2 a 7, 15 horas cátedra en total).

La actividad del primer encuentro de esta etapa (Clase 2) se inició con la proyección de un video² relativo a la estructura de la molécula de ADN y la historia de su descubrimiento.

² Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=lyB7avA0HF0> consultado el 8/8/12

En el mismo se presentaban diversos modelos representativos de la estructura del ADN y del mecanismo de replicación. Al finalizar la proyección, el docente, asistido por los alumnos esquematizó en el pizarrón la estructura de la molécula de ADN con el objeto de reconstruir el modelo molecular propuesto por Watson y Crick en el año 1953.

En el siguiente encuentro (Clase 3) los estudiantes consultaron bibliografía relacionada con el proceso de replicación del ADN en células procariotas y eucariotas, su relación con la división celular normal y las consecuencias de la pérdida del control del ciclo celular. Hasta esta instancia las clases se desarrollaron de igual modo para ambos grupos de alumnos; al finalizar la búsqueda, como ya se expresó, se realizó un encuentro (Clase 4) en el cual se trabajó de manera diversificada, a partir del análisis del proceso de replicación del ADN. El mismo fue abordado en forma paralela con los dos grupos (1 y 2), pero de manera diferencial, como se detalla a continuación:

En el grupo 1, el docente realizó en el pizarrón el esquema de una horquilla de replicación y a partir del mismo, con la información que los alumnos proporcionaron sobre la base de la búsqueda realizada, se describieron los sucesos moleculares que concluyen con la duplicación del material genético, tanto en organismos procariotas como eucariotas. En la Figura 2 se muestra la representación gráfica que fue utilizada.

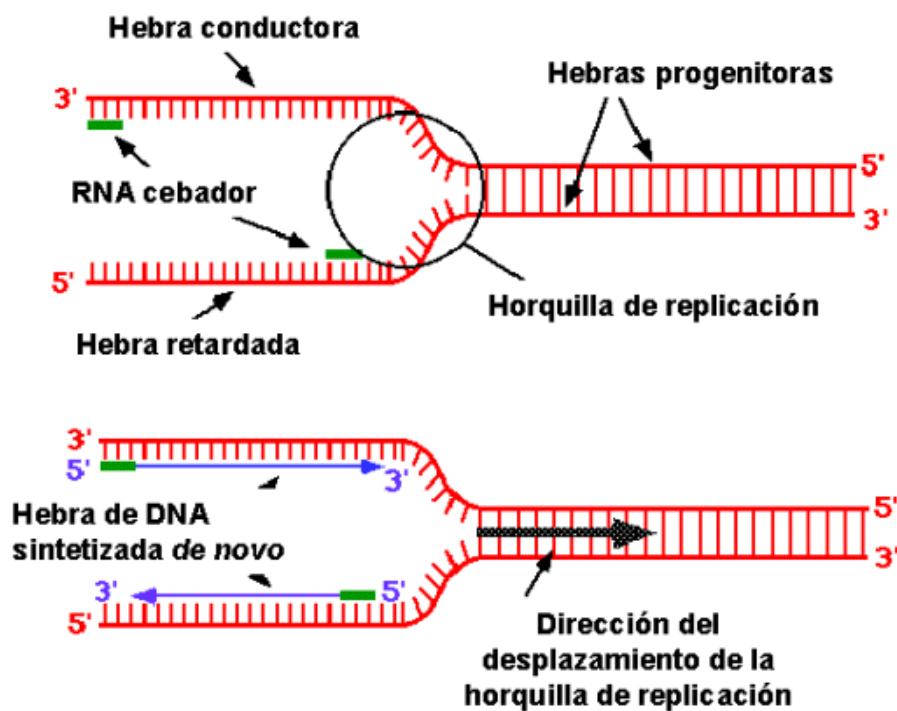


Figura 2. Representación gráfica de una horquilla de replicación del ADN.

Extraída de:

http://www.biologia.arizona.edu/molecular_bio/problem_sets/nucleic_acids/05t.html

En el grupo 2 el docente representó en el pizarrón un cromosoma procariota y uno eucariota, y en ellos se graficaron una o varias burbujas de replicación respectivamente (Figura 3). Se analizaron las diferencias en cuanto al material genético existente en ambos tipos celulares. Luego, con la información obtenida por los estudiantes a partir del rastreo bibliográfico se describió el proceso de replicación, graficándose en el pizarrón, una horquilla, haciendo referencia a su ubicación dentro de la burbuja de replicación.

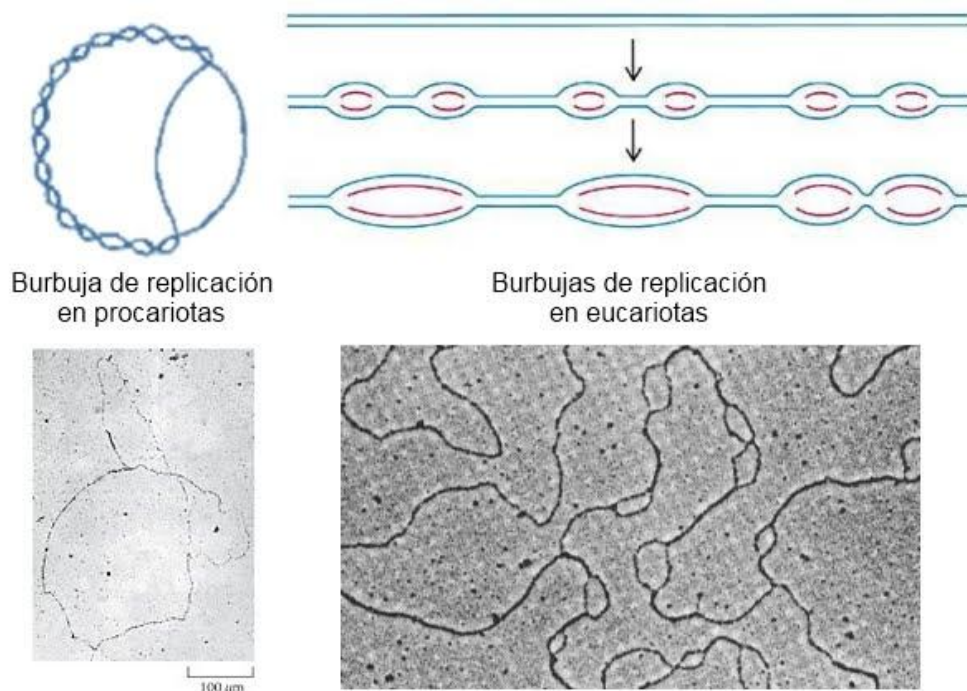


Figura 3. Representación de una burbuja de replicación, extraído de:
<http://flalda.wordpress.com/2010/03/03/la-replicacion-del-adn/>

Una vez finalizadas las actividades correspondientes a la cuarta clase, se continuó con las actividades de aplicación de los contenidos abordados, estas fueron realizadas durante tres clases consecutivas (Clases 5 a 7).

Para el trabajo de aplicación de contenidos se solicitó a los estudiantes de ambos grupos que representen cromosomas de organismos procariotas y eucariotas. Cada grupo fue provisto de hilos y clips de diversos colores, con los que construyeron un cromosoma característico (único y circular para el caso de los organismos procariotas; lineales y múltiples para el caso de los eucariotas) sobre una hoja de papel afiche o similar.

Una vez finalizada la tarea de elaboración de los modelos de cromosomas, los estudiantes representaron con lápiz y papel, el proceso de replicación, ubicando los orígenes, las burbujas y las horquillas de replicación. En dichas producciones además, identificaron para cada nueva cadena de ADN (moléculas hijas), el modo en que fueron sintetizadas, utilizando un color para las que lo hicieron de manera continua y otro para las que fueron sintetizadas en fragmentos. Otra actividad propuesta fue marcar sobre los telómeros, los

lugares donde consideraban que se podría perder información si no actuaba la enzima telomerasa, evitando de este modo la pérdida de información en cada ciclo de división celular.

Al finalizar estas actividades, en la Clase 6, se trabajó con el artículo de divulgación científica “Los telómeros, el envejecimiento celular y la vida eterna” (Forno, 2011), que analiza la acción de la telomerasa en diversos tipos celulares (Anexo II). Como producto final los alumnos redactaron un informe siguiendo las orientaciones proporcionadas por el docente, las cuales tuvieron como finalidad que los estudiantes pudieran: describir la composición química de la telomerasa y relacionarla con su función; dibujar un cromosoma eucariota e identificar la o las zonas donde sería necesaria la acción de la enzima para evitar la pérdida de información genética; buscar en la bibliografía el tipo de células en que es posible encontrar la expresión de la telomerasa, su relación con el desarrollo del cáncer y con el envejecimiento de las células y de los individuos.

Finalmente, en la Clase 7, y con el objeto de evaluar la comprensión de los procesos moleculares estudiados y su aplicación en la resolución de nuevas situaciones problemáticas, se propuso a los alumnos responder a los siguientes interrogantes:

- 1) ¿Cómo es la organización de los cuatro tipos de nucleótidos para el almacenamiento de la información genética?
- 2) ¿Cómo se lleva a cabo la duplicación del ADN?
- 3) ¿Por qué es diferente el modo de replicación en la cadena adelantada y en la retrasada?
- 4) ¿Qué ocurre con los cebadores al finalizar la replicación? ¿Qué problema ocasiona esta remoción en los telómeros?

Etapas finales: proyecto final de síntesis

Esta etapa se desarrolló en la octava clase de la propuesta, en la cual los alumnos aplicaron los contenidos comprendidos a lo largo de la secuencia desarrollada. En esta clase presentaron de manera grupal sus conclusiones respecto del artículo analizado y los interrogantes planteados en relación al mismo, también construyeron mapas conceptuales. En los mismos debían incluir todos los contenidos abordados a lo largo de la secuencia didáctica y sus relaciones. Para la confección de los mapas conceptuales se les indicó que utilicen los siguientes conceptos clave: replicación, ADN, cromosomas, telómeros,

telomerasa, ARN, proteínas, ciclo celular, transcripción, traducción; y que establezcan relaciones entre ellos.

La intención de utilizar los mapas conceptuales fue que los alumnos representen a través de un proceso abierto, con resultados variables, las relaciones jerárquicas que encontraran entre los nuevos conceptos con otros que formaban parte de su conocimiento previo (Ruiz de Miera y Rosado, 1988); por otra parte, los mapas constituyeron valiosas herramientas para evaluar la comprensión global de los contenidos.

De este modo esta etapa fue una instancia en la cual se retomaron y confrontaron ideas y argumentos, con el propósito de llegar a conclusiones consensuadas. Tal como sostienen Fiore Ferrari y Leymonié Sáenz, (2007) en la fase de síntesis se pusieron en juego los aprendizajes no sólo de aspectos cognitivos, sino también de las capacidades motrices, afectivas, interpersonales y sociales.

En particular, en esta etapa se pusieron en práctica desempeños vinculados con:

- Hechos, reglas y definiciones de la ciencia. Contenidos disciplinares de la Biología celular y molecular.
- Técnicas de procedimiento necesarias para investigar el mundo natural, tales como observación, interpretación de la información, formulación de hipótesis, formulación de preguntas, concepción sobre investigaciones, resolución de problemas.
- Prácticas cooperativas de trabajo en grupo.
- Uso de apoyos instrumentales (wikipedia, youtube, facebook, internet en general) como herramientas que colaboraron con el aprendizaje de contenidos, con formas de expresión, negociación y utilización de la mente
- Uso de la narración como instrumento de pensamiento y de intercambio
- Uso de la tecnología disponible
- Habilidades socio-lingüísticas para enseñar y comunicar a otros los conocimientos adquiridos

Aplicando algunas estrategias de la enseñanza por indagación, se promovió la formulación de preguntas y de posibles hipótesis para explicar determinados fenómenos, y la búsqueda de evidencias para dar sustento a las afirmaciones. El análisis de experimentos históricos, o

de resultados obtenidos por los investigadores, o aún la lectura de textos informativos o de divulgación fueron utilizados para enseñar competencias científicas como recomiendan Furman y Podestá (2010).

Evaluación diagnóstica continua

Se realizó una valoración continua de los procesos de enseñanza y de aprendizaje en la cual los factores constantes fueron los criterios compartidos y públicos, la retroalimentación permanente, y las oportunidades frecuentes para la reflexión durante el proceso de aprendizaje. Esta retroalimentación se realizó de manera informal, especialmente en las primeras fases del trabajo, cuando los alumnos se preparaban para empezar y el docente registró en qué medida comprendían o no los aspectos particulares del tópico (Blythe, 1999; Litwin, 2008, 2010).

Los procesos de enseñanza y de aprendizaje desarrollados en la etapa de síntesis se evaluaron a través de una matriz analítica instruccional, con criterios de evaluación que fueron consensuados con los alumnos antes de iniciar el trabajo. En la Tabla 1 se presenta la matriz, con los criterios que se tuvieron en cuenta:

Gradaciones de calidad			
Criterios a evaluar	(el valor numérico mayor representa un mejor desempeño)		
	3	2	1
Transmitir a los compañeros lo comprendido del artículo analizado	Pueden comunicar en forma oral y escrita lo comprendido, utilizando un vocabulario pertinente.	Pueden comunicar en forma oral y escrita lo comprendido, pero algunos conceptos no son desarrollados.	Presentan dificultades para comunicar en forma oral y escrita lo comprendido.
Explicar el proceso de replicación del ADN en los telómeros	Explican en su totalidad el proceso de manera clara y correcta.	Explican parcialmente el proceso, presentando algunos conceptos no comprendidos de manera correcta.	Presentan grandes dificultades para explicar el proceso de manera clara y correcta.
Aplicar los conceptos comprendidos para el análisis de la relación entre el acortamiento de los telómeros y el envejecimiento celular	Demuestran que han comprendido el proceso molecular involucrado pues lo aplican correctamente para interpretar la situación analizada.	Demuestran que han comprendido sólo de manera parcial el proceso molecular involucrado. Les resulta difícil aplicarlo correctamente para interpretar la situación analizada.	No pueden aplicar el desarrollo del proceso de replicación para analizar la situación planteada.
Exposición oral en el aula	Utilizan un lenguaje adecuado, describen lo que han investigado y utilizan diversos recursos para explicar a los compañeros	Utilizan un lenguaje adecuado, describen lo que han investigado pero no utilizan recursos óptimos para explicar a los compañeros	Utilizando un lenguaje coloquial, describen lo que han investigado

Tabla 1. Matriz analítica instruccional para evaluar el trabajo realizado en la etapa de síntesis.

Análisis de la información obtenida

La información fue recogida a través de la observación participante, análisis de documentos escritos, coloquios y debates, cuestionarios y trabajos de los alumnos, y fue analizada desde el momento de recolección de los datos y en etapas posteriores a la finalización del desarrollo de la secuencia en el aula.

Se compararon las respuestas generadas por los alumnos de ambos grupos (1 y 2), para lo cual se realizó una categorización de los resultados obtenidos (Carrasco y Calderero Hernández, 2000). También se registraron las producciones, las resoluciones de las actividades de lápiz y papel y las preguntas que formularon. En particular se analizaron las producciones realizadas a partir de la Clase 4, en la cual se trabajó de manera diferenciada en los dos grupos de estudiantes.

Para el análisis de los gráficos y de las respuestas a los interrogantes planteados en la Clase 7, se identificaron conceptos centrales comunes en las producciones de los alumnos y sobre la base de los mismos se elaboró una categorización, agrupando las respuestas que presentaran coincidencias dentro de las mismas categorías.

Se elaboraron repuestas de referencia para contrastar las respuestas de los alumnos, las mismas se construyeron sobre la base de diversas fuentes bibliográficas consultadas (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff, Roberts y Walter, 2011; Curtis, Barnes, Shnek y Flores., 2006; Curtis *et al.*, 2008; De Robertis y Hib, 2004) y luego se compararon las frecuencias porcentuales de ambos grupos.

Criterios que se tuvieron en cuenta para el análisis de las producciones de los alumnos:

1) Modelos de cromosomas de organismos procariotas y eucariotas.

Gráficos de referencia, considerados correctos y completos (se considera que los gráficos están completos cuando incluyen los conceptos presentados en cursiva en la descripción de los esquemas de referencia):

Cromosoma procariota: forma *circular*, con dos cadenas polinucleotídicas *complementarias* y *antiparalelas*.

Cromosoma eucariota: forma *lineal*, con dos cadenas polinucleotídicas *complementarias* y *antiparalelas*.

2) Representaciones gráficas del proceso de replicación, ubicando los orígenes, las burbujas y las horquillas de replicación, indicando, además el modo de replicación (continuo o discontinuo, de los distintos fragmentos de ADN).

Gráficos de referencia, considerados correctos y completos (se considera que los gráficos están completos cuando incluyen los conceptos presentados en cursiva en la descripción de los esquemas de referencia):

Organismos procariotas: *Un cromosoma circular, con un origen de replicación único, una única burbuja de replicación, mostrando el modo bidireccional y semi-discontinuo* del proceso de replicación.

Organismos eucariotas: *cromosomas lineales con varias orígenes y varias burbujas de replicación, mostrando el modo bidireccional y semi-discontinuo* del proceso de replicación, indicando, además, la *ubicación correcta de los telómeros*.

3) Interrogantes de la Clase 7.

Para el análisis de las respuestas de los alumnos se determinaron tres categorías en base a la comparación de las mismas con las respuestas consideradas correctas y completas y los datos se analizaron en sus frecuencias porcentuales.

Respuestas correctas completas (RCC): aquellas que contienen todos los conceptos que se presentan en cursiva subrayados en la respuesta de referencia

Respuestas correctas incompletas (RCI): aquellas que presentan algunos de los conceptos que se presentan en cursiva en la respuesta de referencia

Respuestas incorrectas (RI): aquellas que presentan conceptos considerados incorrectos.

Sin respuesta (SR)

Respuestas de referencia, consideradas correctas y completas:

Pregunta 1. ¿Cómo están organizados los cuatro tipos de nucleótidos para el almacenamiento de la información genética?

Respuesta

Los desoxirribonucleótidos se disponen en ambas cadenas de manera *complementaria* (Adenina unida a Timina y Citosina unida a Guanina) y *antiparalela* (una cadena en sentido 3'5' y la otra en sentido 5'3'). Durante los procesos implicados en el *paso de la información genética desde el ADN hasta la síntesis de proteínas*, los nucleótidos son *leídos en unidades de información llamadas codones*, constituídas por tres nucleótidos cada una.

Pregunta 2 ¿Cómo se lleva a cabo la duplicación del ADN?

Respuesta

A partir de secuencias de ADN denominadas *orígenes de replicación* (*única en organismos procariotas y múltiples en organismos eucariotas*), comienza el proceso de replicación. Se desarrollan estructuras que debido a su forma son denominadas *burbujas de replicación* (*única en procariotas y múltiples en eucariotas*), dentro de las cuales se conforman las llamadas horquillas de replicación, dos para cada burbuja. Así, *de modo bidireccional se lleva a cabo la duplicación de las cadenas de ADN*, comenzando en los orígenes de replicación. Teniendo en cuenta que el sentido de síntesis de las nuevas cadenas es del extremo 5' al 3', *en cada nueva cadena de los cromosomas eucariotas habrá fragmentos que se sinteticen de manera continua y otros de manera discontinua*.

Pregunta 3 ¿Por qué es diferente el modo de replicación en la cadena adelantada y en la retrasada?

Respuesta

El *sentido de síntesis de la ADN polimerasa es desde el extremo 5' al 3'*. Es por eso que en una de las cadenas, la cadena complementaria *se sintetiza de modo continuo y en la otra lo hace de manera discontinua*, en los llamados “fragmentos de Okazaki”.

Pregunta 4 ¿Qué ocurre con los cebadores al finalizar la replicación? ¿Qué problema ocasiona esta remoción en los telómeros?

Respuesta

Al finalizar el proceso de replicación *los cebadores (fragmentos de ARN insertados en las nuevas cadenas de ADN), son removidos*. En cada ciclo de replicación, *en uno de los telómeros de cada cromosoma hijo, esta secuencia de ARN removida de una de sus dos cadenas (5') no podrá ser reemplazada por un fragmento de ADN, debido a su polaridad, lo que ocasionará un acortamiento del cromosoma y una consecuente pérdida de información en los sucesivos ciclos de replicación*.

4) Diagramas o mapas conceptuales

Los mapas fueron analizados utilizando los siguientes criterios:

Presencia de los conceptos básicos (dados por el docente); presencia de otros conceptos, que se relacionaran con los anteriores; presencia de ejemplos; número de relaciones válidas; número relaciones inválidas.

RESULTADOS

1) Modelos de cromosomas de organismos procariotas y eucariotas.

En las Figuras 4, 5 y 6, se presentan algunas de las producciones que los alumnos realizaron en la Clase 5.

En la Figura 4 pueden observarse ejemplos de los modelos realizados por alumnos de ambos grupos.

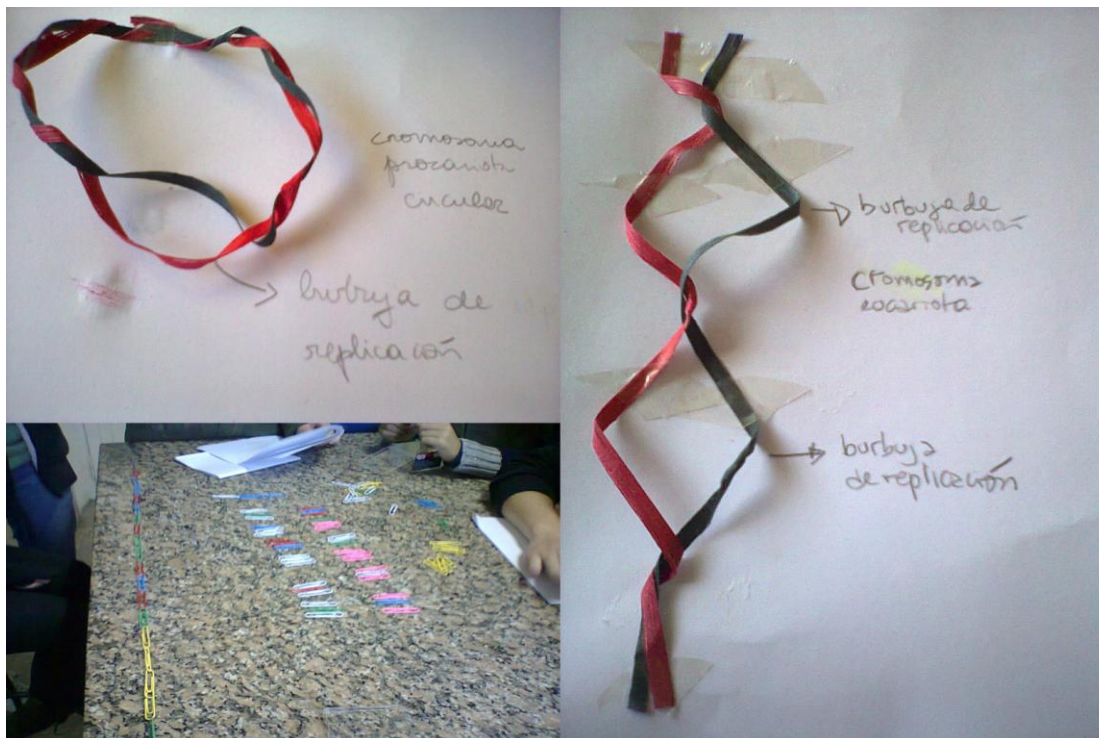


Figura 4. Ejemplos de modelos realizados por los alumnos para representar cromosomas de organismos procariotas y eucariotas.

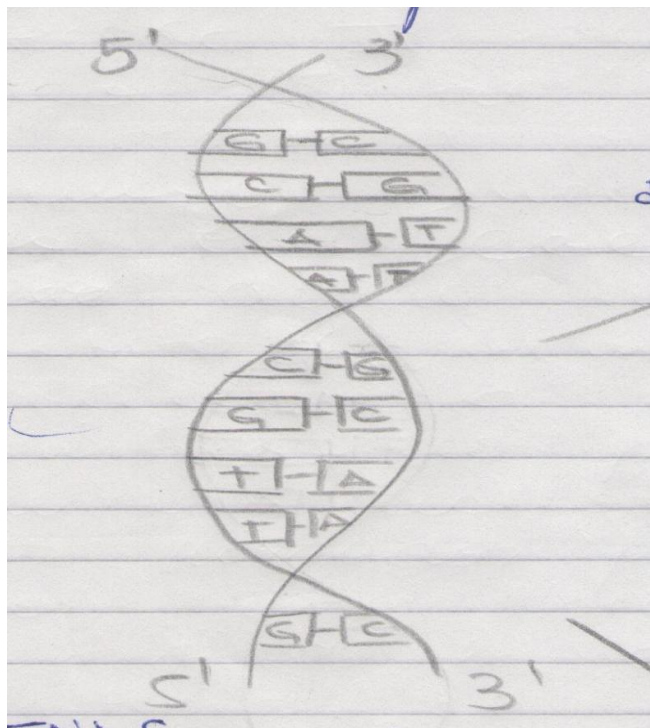


Figura 5. Representación de un cromosoma eucariota realizado por alumnos del Grupo 1.

En la Figura 6 se puede observar un ejemplo de la producción de alumnos pertenecientes al grupo 2.

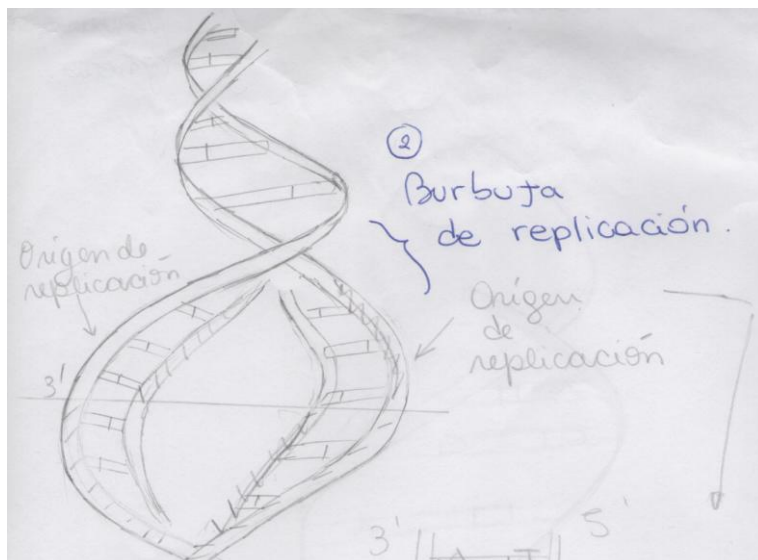


Figura 6. Representación de un cromosoma eucariota realizada por alumnos del Grupo 2.

Ninguno de los grupos presentó dificultades para realizar modelos ni para dibujar cromosomas procariotas ni eucariotas, tal como puede verse en las Figuras 4, 5 y 6. Teniendo en cuenta que éstos son contenidos que los alumnos han abordado en años anteriores, aunque con menor profundidad, y además, que presentan un bajo nivel de complejidad, se esperaba que no tuvieran dificultades en estos desempeños.

2) Representación del proceso de replicación, ubicando los orígenes, las burbujas y las horquillas de replicación, indicando, además el modo de replicación (continuo o discontinuo, de los distintos fragmentos de ADN).

En la Figura 7 (A y B) se observan ejemplos de las representaciones de alumnos pertenecientes al grupo 1:

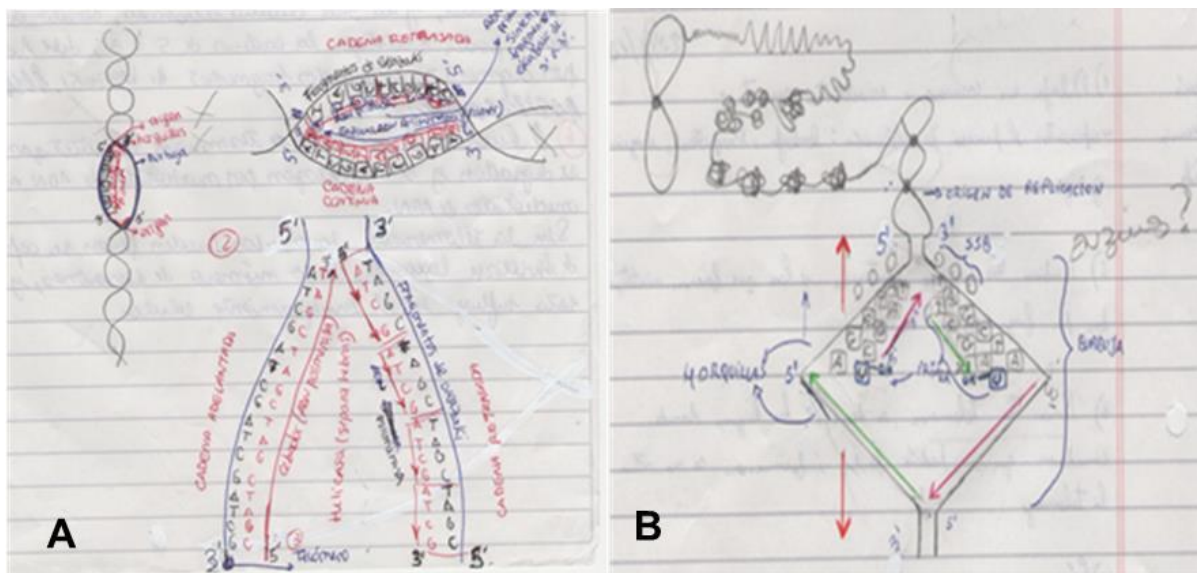


Figura 7 (A y B). Representación del proceso de replicación del ADN realizada por alumnos del Grupo 1.

Si bien en el gráfico de la Figura 7.B se observa que muchos de los contenidos relativos a la estructura del ADN han sido comprendidos y son correctamente representados, como el caso de los distintos grados de empaquetamiento del ADN en organismos eucariotas, ambos esquemas presentan errores en la ubicación de los orígenes de replicación y en el modo de replicación de las nuevas cadenas dentro de la horquilla. Los mismos, según la

experiencia en la práctica, son los conceptos donde se observan mayores dificultades de comprensión.

En la Figura 8 (A, B y C) se observan ejemplos de representaciones de alumnos pertenecientes al grupo 2:

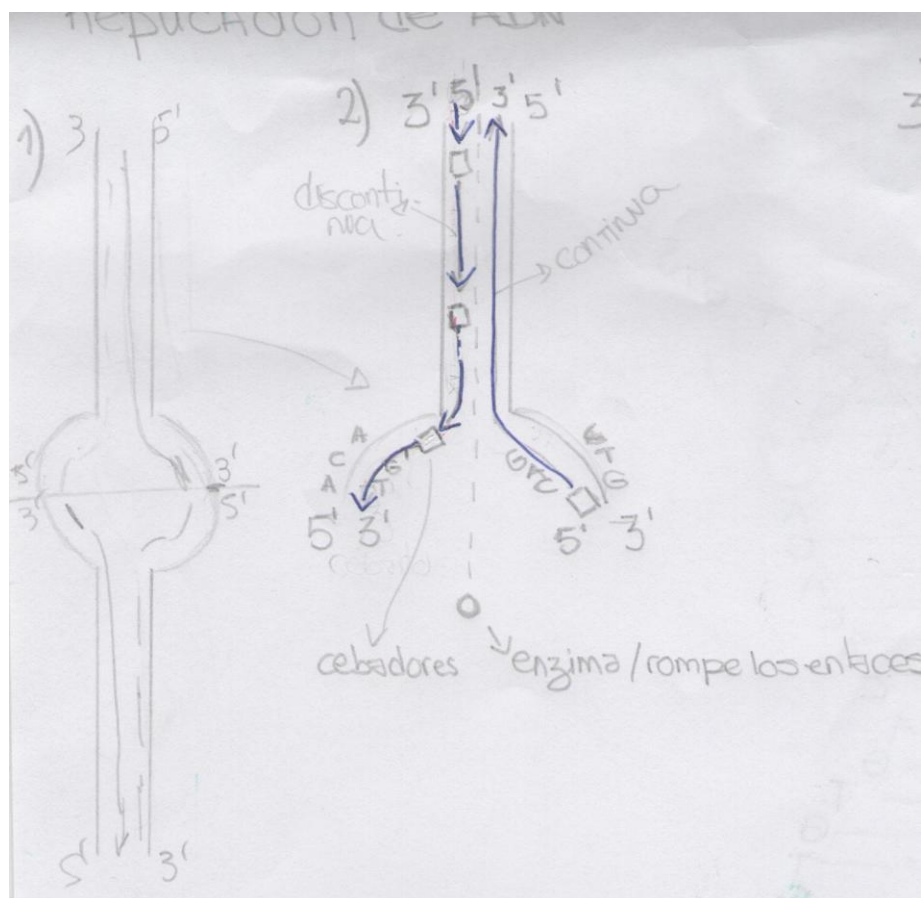


Figura. 8. A. Representación del proceso de replicación del ADN realizada por alumnos del Grupo 2.

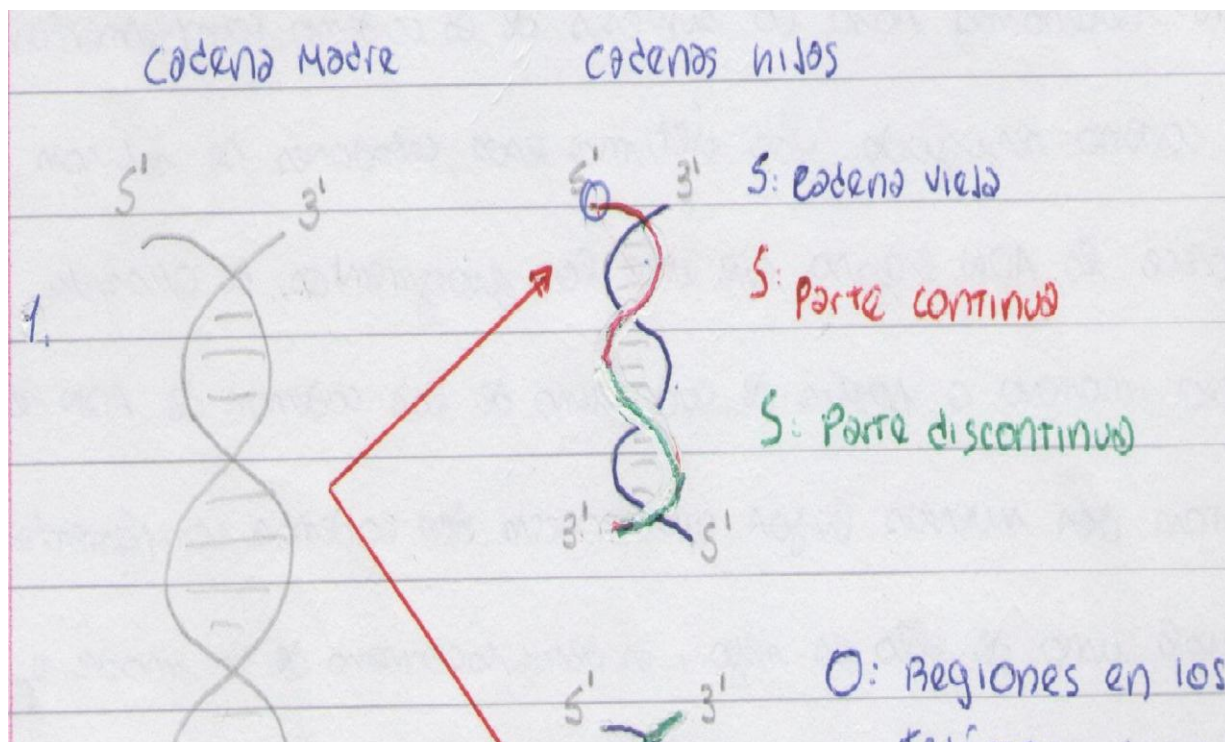


Figura.8.B. Representación del proceso de replicación del ADN realizada por alumnos del Grupo 2.

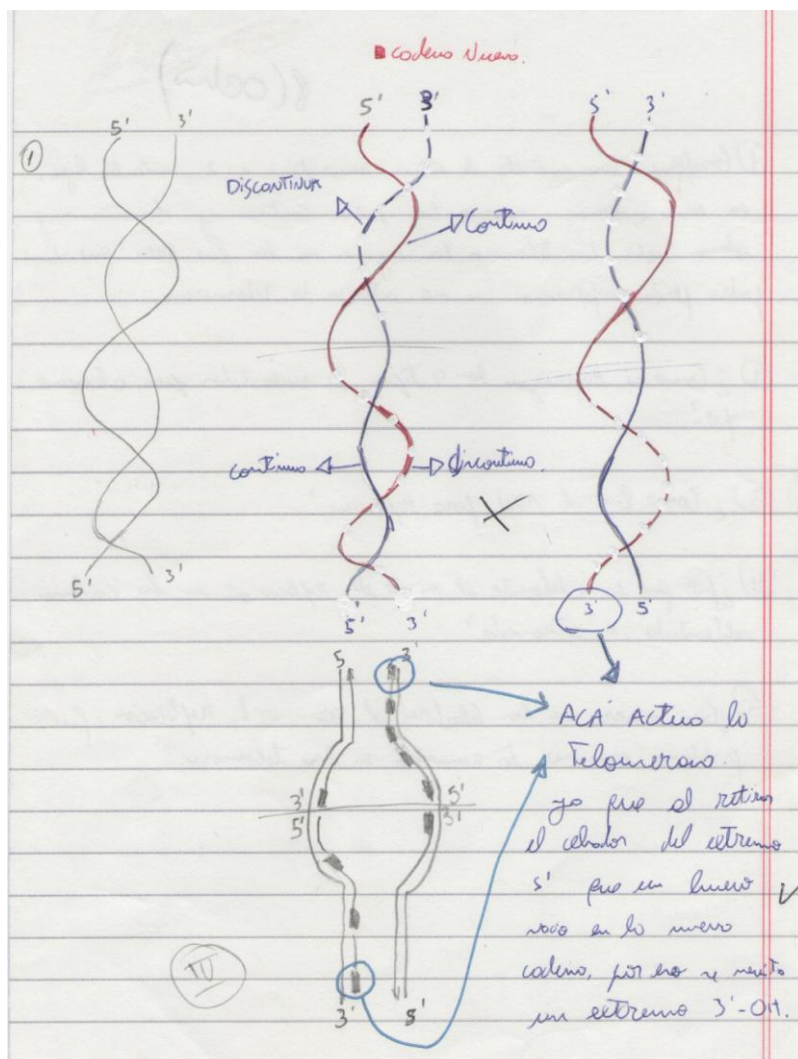


Figura 8.C. Representación del proceso de replicación del ADN realizada por alumnos del Grupo 2.

En estos tres ejemplos los alumnos pudieron señalar, de manera correcta, la ubicación de los orígenes de replicación y el modo de replicación de las nuevas cadenas dentro de la horquilla.

3) Interrogantes de la Clase 7.

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos, luego de haber agrupado las respuestas de los alumnos en las categorías descriptas en la Metodología del presente trabajo final de Integración.

Pregunta 1 <i>¿Cómo están organizados los cuatro tipos de nucleótidos para el almacenamiento de la información genética?</i>						
	RCC	RCI	RI	SR	% Respuestas Correctas (RCC+RCI)	N
Grupo 1	0	6	2	4	50%	12
Grupo 2	5	6	2	0	84,6%	13
Pregunta 2 <i>¿Cómo se lleva a cabo la duplicación del ADN?</i>						
	RCC	RCI	RI	SR	% Respuestas Correctas (RCC+RCI)	N
Grupo 1	0	4	7	1	33,3%	12
Grupo 2	7	6	1	0	92,3%	13

Pregunta 3 <i>¿Por qué es diferente el modo de replicación en la cadena adelantada y en la retrasada?</i>						
	RCC	RCI	RI	SR	% Respuestas Correctas (RCC+RCI)	N
Grupo 1	2	3	7	0	41,7%	12
Grupo 2	7	3	1	2	76,9%	13

Pregunta 4 <i>¿Qué ocurre con los cebadores al finalizar la replicación? ¿Qué problema ocasiona esta remoción en los télómeros?</i>						
	RCC	RCI	RI	SR	% Respuestas Correctas (RCC+RCI)	N
Grupo 1	1	5	4	2	50%	12
Grupo 2	6	6	1	0	92,3%	13

Tabla 2. Frecuencia de respuestas dadas por los alumnos de los Grupos 1 y 2, para cada una de las preguntas formuladas. RCC (Respuesta correcta completa). RCI (Respuesta correcta incompleta). RI (Respuesta incompleta). SR (Sin respuesta)

Como surge del análisis de las frecuencias de respuestas obtenidas por ambos grupos, en los alumnos que corresponden al grupo 2 se detectan mayores porcentajes de respuestas correctas (considerando las respuestas completas y las incompletas), lo que evidencia una adecuada comprensión de los contenidos, reflejada en el tipo de respuestas que ofrecen. A modo de ejemplo, se transcriben algunas expresiones de alumnos del grupo 2.

¿Por qué es diferente el modo de replicación en la cadena adelantada y en la retrasada?

“La cadena retrasada posee un modo de replicación diferente al de la adelantada puesto que tiene sentido contrario al que la ADN polimerasa puede sintetizar. Esta lo hace de 5' a 3' pero la cadena retrasada se orienta de 3' a 5' por lo que para replicarla va a requerir más de un cebador a diferencia de la adelantada que sólo posee uno y lo hace de manera continua. Para replicar la retrasada lo hace de manera discontinua, se debe esperar que la horquilla avance para disponer de una cierta cantidad de molde por eso el modo de replicación de una y otro son diferentes”.

¿Qué ocurre con los cebadores al finalizar la replicación? ¿Qué problema ocasiona esta remoción en los telómeros?

“Al finalizar la replicación los cebadores son removidos por una enzima mencionada anteriormente y que se conoce como ADN polimerasa I y que coloca bases a la cadena en crecimiento. Esta remoción en los telómeros puede ocasionar la pérdida de la información genética”.

“Al finalizar la replicación los cebadores son retirados por la ADN polimerasa. Debido a que al eliminar el cebador de los fragmentos de Okazaki del extremo 5' de la cadena retrasada del telómero del nuevo cromosoma lineal se produce un hueco que no puede ser rellenado por acción de la ADN polimerasa, puesto que sólo funciona en dirección 5'-3' y necesitan un extremo OH 3', y en el final del cromosoma no hay espacio para regenerar el ARN cebador que done ese extremo. Como consecuencia quedaría más corto el segmento al final sin copiarse y se iría acortando el ADN por ese extremo en cada ronda de replicación. Esto es solucionado por acción de la telomerasa, un complejo de proteína-ARN que impide el acortamiento de los telómeros. Reconoce las secuencias y va a realizar una extensión del telómero en dirección 5'-3' utilizando como molde para la síntesis del ADN su propia molécula de ARN sin necesidad de cebador”.

“Los cebadores son retirados al final del proceso por la enzima polimerasa, y unidos los fragmentos de Okazaki (interrumpidos por los cebadores) por la ADN ligasa. Cuando se remueve el cebador apareado al extremo 3' de la cadena rezagada no se puede sintetizar más ADN por tratarse del extremo del cromosoma, esto se soluciona por la acción de la telomerasa, sin la cual los telómeros se irían reduciendo en cada replicación de ADN y se perdería información”.

4) Mapas conceptuales

En las Figuras 9 (A y B) y 10 (A y B) se presentan ejemplos de los esquemas elaborados por los alumnos. El análisis de los mismos revela falta de conocimiento de la estructura general de un mapa conceptual. Si bien la consigna solicitaba la confección de los diagramas, no se explicitó el modo correcto de hacerlo, pues se consideró, que los estudiantes de sexto año ya estaban familiarizados con los mapas conceptuales.

También se observó falta de comprensión de algunos contenidos, ausencia de palabras de unión entre los conceptos clave, y dificultades para establecer relaciones jerárquicas entre éstos.

Por otra parte, luego de analizar los contenidos de los mapas se observa que al menos un 50% de alumnos del grupo 1 presentan errores, por ejemplo las afirmaciones de que “la telomerasa actúa siempre en la replicación”, de que una “hebra madre se divide para dar hebras hijas” y de que “un cromosoma está formado por dos cromátidas” (Ejemplo mostrado en la Figura 9.A), y repetición de conceptos clave, mientras que los diagramas elaborados por el grupo 2 muestran una mayor integración de contenidos, por ejemplo incluyendo a la replicación del ADN como proceso que se da en una determinada etapa del ciclo celular y una comprensión más adecuada de los nuevos conceptos abordados durante las clases.

En las Figuras 9 y 10 se muestran ejemplos de los esquemas realizados por los alumnos.

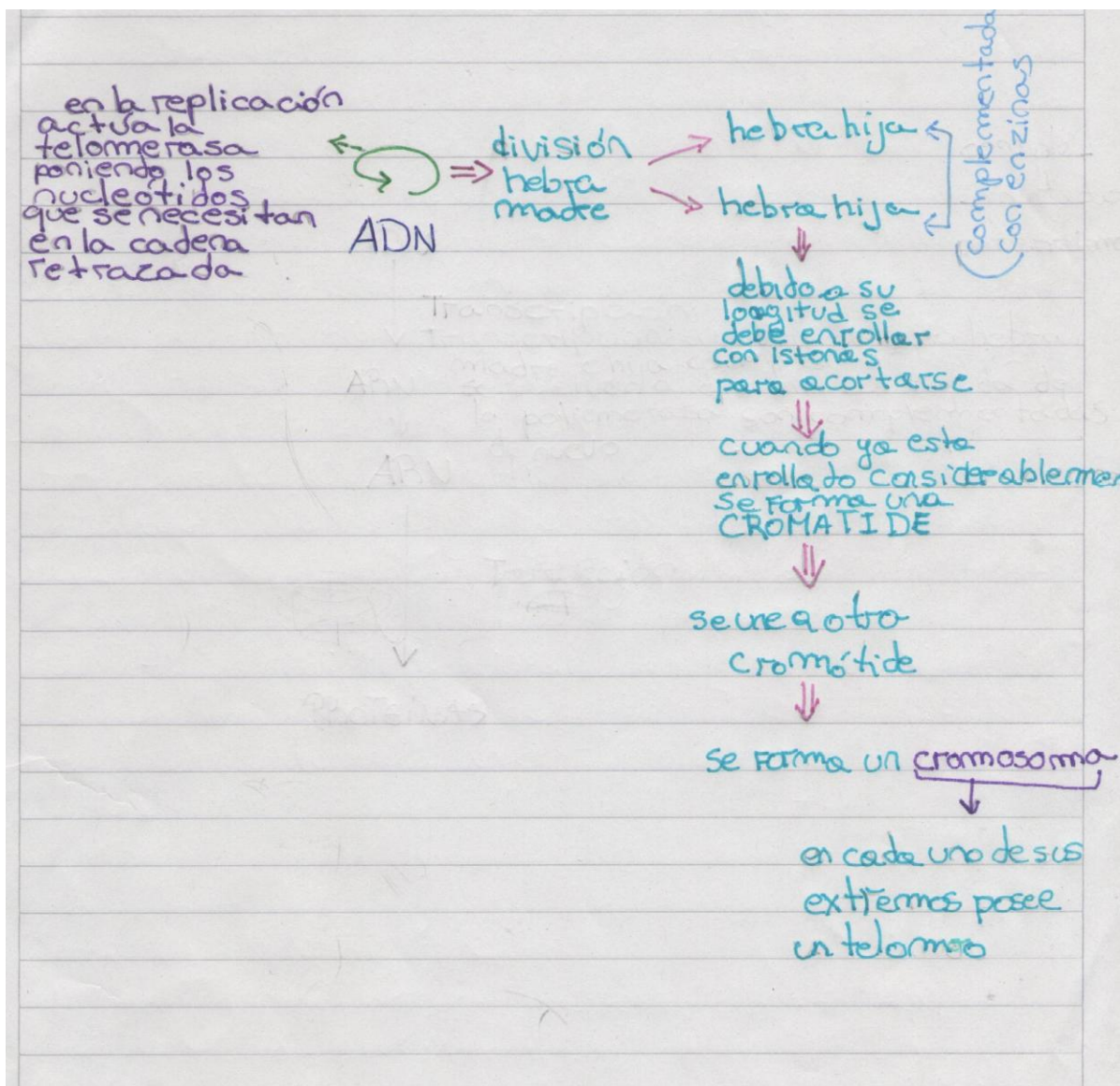


Figura 9.A. Mapa conceptual realizado por alumnos del Grupo 1.

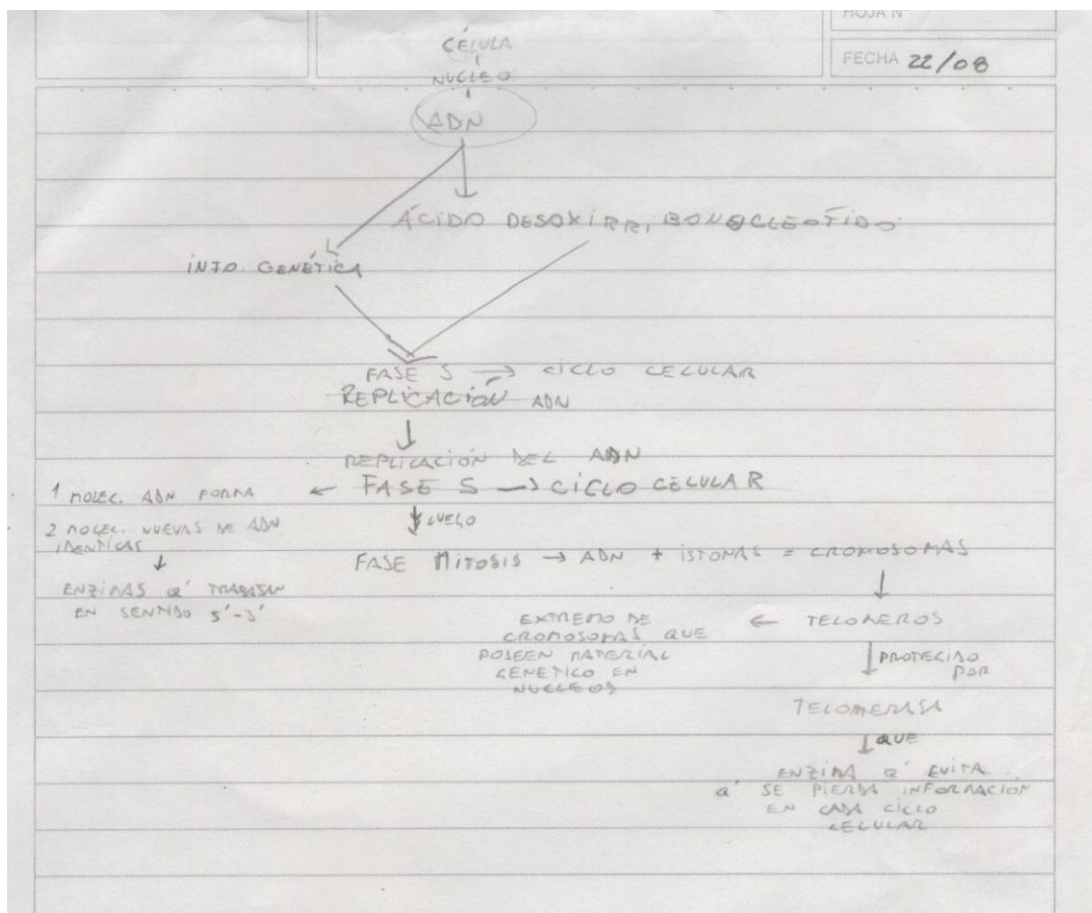


Figura 9.B. Mapa conceptual realizado por alumnos del Grupo 1.

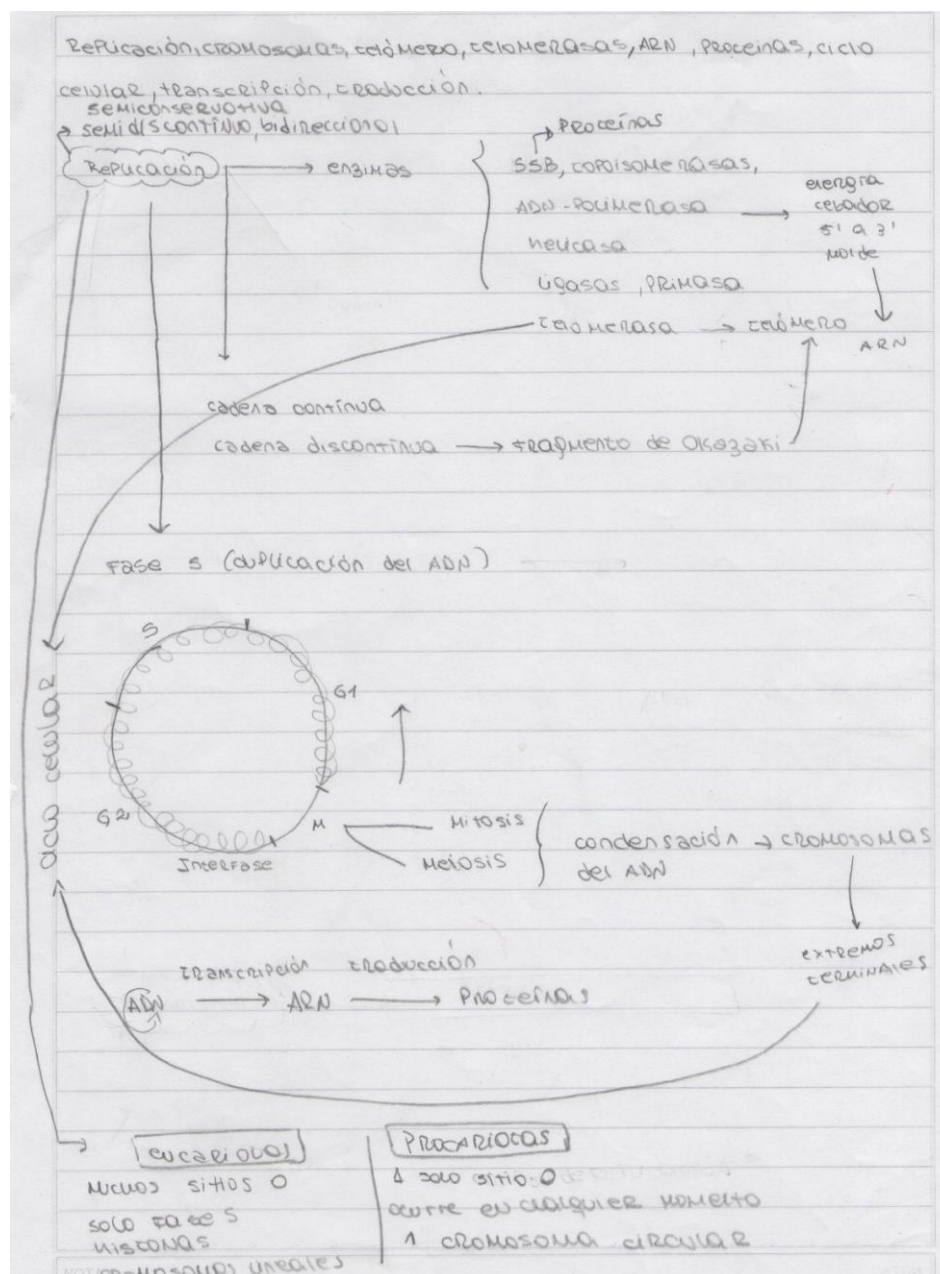


Figura 10.A. Mapa conceptual realizado por alumnos del Grupo 2.

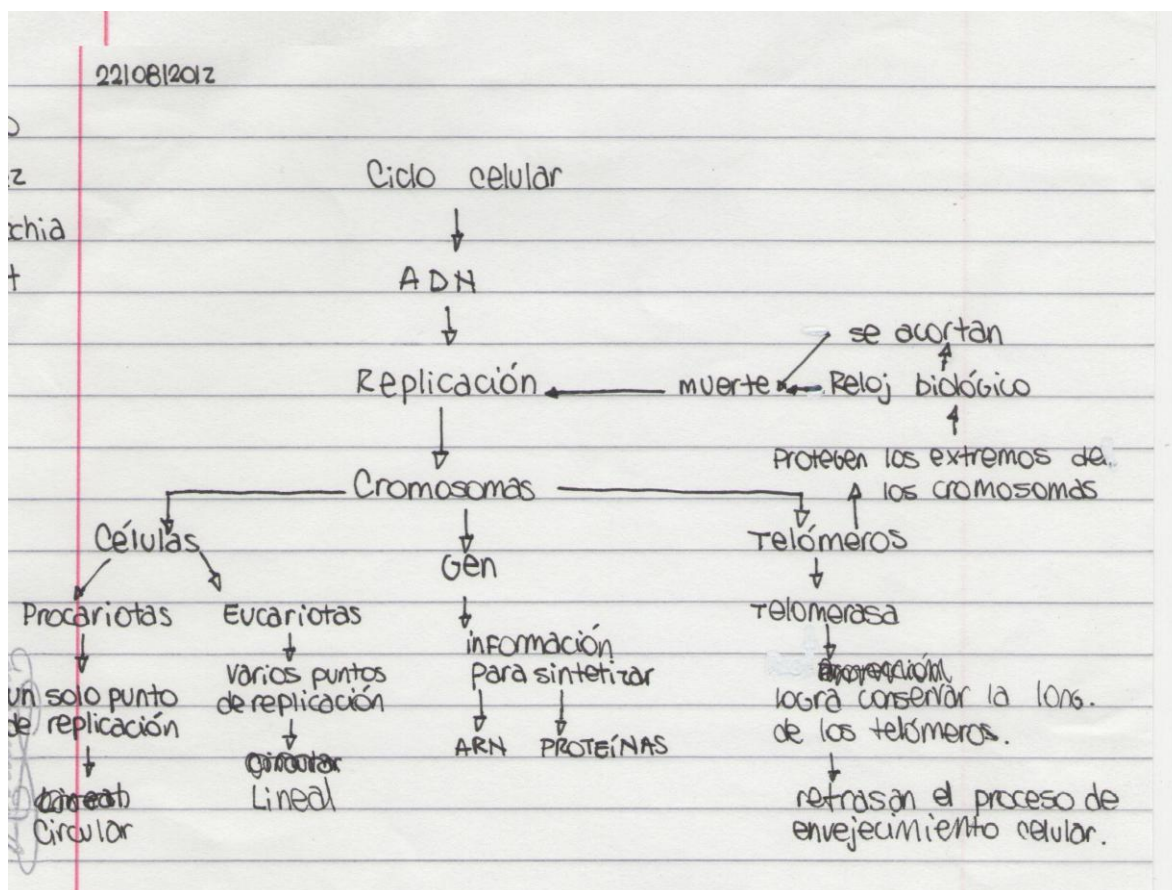


Figura 10.B. Mapa conceptual realizado por alumnos del Grupo 2.

5) Datos de la matriz analítica instruccional

El análisis de los valores obtenidos al aplicar la matriz muestra que los desempeños de un mayor porcentaje (70-80%) de alumnos del grupo 2 se encuentra entre las gradaciones de calidad 3 y 2, mientras que en el grupo 1 la mayoría de los alumnos (80%) se ubica en el grado 2 de calidad para la mayoría de los criterios. Sin embargo, en ninguno de los dos grupos se encuentran desempeños de calidad 1, lo que demuestra que, si bien todos los alumnos transmitieron al menos algunos de los conceptos aprendidos utilizando un lenguaje adecuado, la estrategia implementada con el grupo 2 contribuye a una mayor comprensión del proceso de replicación y otros eventos moleculares asociados al mismo.

CONCLUSIONES

Como se refirió en la Introducción, diversos cuestionamientos por parte de la autora motivaron el diseño, puesta en práctica y evaluación de esta propuesta didáctica; la misma tuvo como finalidad concreta el diseño de una estrategia de enseñanza tendiente a colaborar en el proceso de aprendizaje de la replicación o duplicación del ADN. En ella se consideró que la utilización de gráficos que incluyan las dos horquillas de replicación en el interior de una burbuja de replicación, podría contribuir a una comprensión adecuada de este complejo proceso.

Durante las clases, planificadas para la comprensión, se promovieron oportunidades para que los estudiantes expliquen, interpreten y apliquen los conceptos comprendidos; tuvieron la posibilidad de volver sobre los conceptos, de manera de lograr gradualmente una comprensión adecuada de los contenidos trabajados. Se comprometieron en actividades que les permitieron identificar las ideas principales y responder a cuestionamientos esenciales relativos a la temática abordada. El análisis de sus producciones aportó información de interés para este estudio, las cuales posibilitaron sintetizar los resultados a través de las conclusiones que se describen a continuación.

Las representaciones elaboradas (*e.g.* dibujos, imágenes) permitieron analizar el tipo de esquemas generados; se encontró de modo general, una producción de esquemas diversos que representan de manera correcta tanto cromosomas de organismos procariotas como eucariotas. Sin embargo, si bien a muchos estudiantes les resultó difícil ubicar las horquillas de replicación múltiples y la localización de los telómeros en los cromosomas de organismos eucariotas, un número mayor de estudiantes del grupo 2, respecto del grupo 1, realizaron representaciones correctas y completas. Teniendo en cuenta que las hipótesis de trabajo fueron que la representación gráfica de la replicación del ADN utilizada habitualmente (horquillas de replicación), genera una comprensión inadecuada del proceso y que la utilización de una representación alternativa que sitúa las horquillas en el interior de una o varias burbujas de replicación mejora la comprensión del proceso, se podría concluir que los resultados aquí mostrados sustentan dichos supuestos. Esta idea se basa en la evidencia encontrada en los dos grupos de alumnos bajo análisis. Por una parte, los alumnos que fueron guiados con la representación gráfica de la replicación del ADN

utilizada habitualmente (horquilla de replicación), comprendieron de manera inadecuada el proceso, lo cual se reflejó, por ejemplo, en las respuestas que dieron a los interrogantes planteados. Por otra parte, la utilización de una representación alternativa que sitúa las horquillas en el interior de una o varias burbujas de replicación mejoró la comprensión del proceso, tal como se vio en los alumnos del grupo 2.

Al comparar las respuestas dadas por los alumnos en la Clase 7, y agrupando todas las respuestas consideradas correctas, se encontraron diferencias entre ambos grupos de alumnos, siendo mayor el porcentaje de respuestas correctas en el grupo 2 respecto del 1. Analizando las respuestas a las preguntas *¿Cómo se lleva a cabo la duplicación del ADN?* y *¿Qué ocurre con los cebadores al finalizar la replicación? ¿Qué problema ocasiona esta remoción en los telómeros?*, puede observarse que las diferencias entre los dos grupos de alumnos son de mayor magnitud. Teniendo en cuenta que estas dos cuestiones son las que requieren un mayor grado de comprensión del proceso de replicación del ADN, puede concluirse que los objetivos del trabajo fueron alcanzados con esta población de estudiantes.

En este sentido, es posible concluir que la estrategia de enseñanza implementada mostró resultados favorables en los estudiantes del grupo 2 que participaron de este estudio, respecto a la calidad de los aprendizajes logrados y los niveles de desempeño. Los mismos también se manifestaron en la confección de los mapas conceptuales. Como se mencionó, en la mayoría de los estudiantes se detectaron dificultades relativas a la jerarquización y organización de conceptos, así como limitaciones para relacionarlos, cuando estos deben presentarse en forma de un mapa conceptual, lo cual podría vincularse con el desconocimiento respecto al desarrollo de habilidades para su elaboración. Sin embargo, algunos alumnos mostraron, a través de sus producciones, la incorporación de los nuevos conceptos, lo que se evidenció a través de la construcción de mapas más complejos. En los mismos se establecieron relaciones jerárquicas entre los conceptos trabajados y los que formaban parte de sus conocimientos anteriores, mostrando la comprensión global de los contenidos y un desarrollo favorable de competencias para la elaboración de mapas conceptuales dado que se siguen algunas pautas básicas respecto a su construcción.

Por último, la evaluación de la etapa de síntesis realizada a través de la matriz instruccional permitió a los alumnos involucrarse de otro modo en su proceso de aprendizaje, utilizando esa información para verificar sus propias comprensiones y sus errores. Como se enunció, la evaluación diagnóstica continua con criterios compartidos y públicos permitió una retroalimentación permanente y brindó numerosas oportunidades para la reflexión durante el período destinado al desarrollo de esta propuesta.

CONSIDERACIONES FINALES. PROSPECTIVA.

Teniendo en cuenta que el uso de diversas representaciones es usual para el tratamiento de los contenidos biológicos del nivel celular y molecular, la selección de las imágenes que se van a utilizar en las clases de ciencias debería realizarse de un modo crítico e intencional, evitando una interpretación de las mismas en forma apresurada ni descontextualizada. Como afirman Maturano *et al.* (2008), las imágenes utilizadas en el aprendizaje de las ciencias requieren un conocimiento del lenguaje simbólico y sus implicaciones conceptuales, y su decodificación y comprensión involucran un proceso que no se da naturalmente por lo cual es necesario aprenderlo y enseñarlo. Numerosos estudios sostienen que uno de los problemas frecuentemente observado en el aula es la dificultad para comprender las relaciones estructura-función, que permiten reconocer cada nivel de organización de los sistemas vivos, especialmente al abordar la estructura atómica, la estructura molecular tridimensional y la estructura celular (Rodríguez Palmero y Moreira, 1999).

Sobre la base de este estudio, los sistemas de representación externa propios de las Ciencias Naturales y su modo de representación en el alumnado, es un campo rico para continuar indagando. Ofrece la posibilidad de diseñar y poner en práctica secuencias didácticas que exploren otros aspectos relativos a la biología molecular, las dificultades y posibles obstáculos que subyacen a su aprendizaje, la evaluación de dichas propuestas y diferentes alternativas o líneas de investigación que quedan abiertas para próximos estudios. Por ello, impulsar formas novedosas de trabajo en el aula, explorar aspectos significantes para la comprensión de contenidos más complejos, extender el análisis a otras temáticas del campo de la Biología, deberían ser algunas de las líneas a considerar en investigaciones futuras, con el objeto de contribuir con nuevas formas de intervención en el aula que colaboren en la consecución de aprendizajes más adecuados y duraderos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. & Walter, P. (2011). *Introducción a la Biología Celular*. 3ª ed. México: Médica Panamericana.
- Blythe, T. (1999). *La enseñanza para la comprensión guía para el docente*. Redes en Educación. Argentina: Paidós.
- Campbell, N. & Reece, J. (2007) *Biología*, 7ma ed. Buenos Aires, Madrid: Médica Panamericana.
- Carrasco, J. & Calderero Hernández, J. (2000). *Aprendo a investigar en educación*. Madrid: Ediciones Rialp.
- Curtis, H., Barnes, S., Schnek, A. & Flores, G. (2006). *Invitación a la Biología*. 6ta ed. Buenos Aires, Madrid: Médica Panamericana.
- Curtis, H.; Barnes, S.; Schnek, A. & Massarini, A. (2008). *Biología*. 7ma ed. Buenos Aires, Madrid: Médica Panamericana.
- D'Aquino Rosa, M. & Mohr, A. (2010) Os fungos na escola: análise dos conteúdos de micologia em livros didáticos do ensino fundamental de Florianópolis. *Experiências em Ensino de Ciências* 5 (3), pp. 95-102.
- De Robertis, E. & Hib, J. (2004). *Fundamentos de Biología Celular y Molecular*. Buenos Aires: El Ateneo.
- Diez Escribano, D. & Caballero Sahelices, C. (2004). Imágenes externas de gen y cromosoma en materiales instruccionales para la enseñanza de la biología en el sistema educativo venezolano. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, América do Norte, 4 (2), Disponible en: <http://revistas.if.usp.br/rbpec/article/view/115/107>. Consultado el 23 de junio de 2013.
- Fiore Ferrari, E. & Leymonié Sáenz, J. (2007). *Didáctica práctica para enseñanza media y superior*. Uruguay: Grupo Magro.

- Forno, J. (2011). Reloj de cromatina. *Suplemento Futuro*. Página12.
- Furman, M. & de Podestá M. E. (2010). *La aventura de enseñar Ciencias Naturales*. Buenos Aires: Aique.
- Galagovsky, L., Di Giacomo M.A. & Castelo, V. (2009). Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. 8 (1).
- Litwin, E. (2008). El oficio de enseñar. Condiciones y contextos. Buenos Aires: Paidós.
- Litwin, E. (2010). ¿Cómo evaluar la innovación en el aula? Mundo Docente. Disponible en: <http://www.weblog.mendoza.edu.ar> . Consultado el 2 de mayo de 2012.
- Manuale, M. (2007). Estrategias para la comprensión: construir una didáctica para la educación superior. Primera parte. Universidad Nacional del Litoral. Argentina
- Maturano, C., Aguilar S. & Núñez G. (2008). Conversión de imágenes al lenguaje escrito: un desafío para el estudiante de Ciencias Naturales. *Revista Eureka Enseñanza Divulgación Ciencias*, 6(1), pp. 63-78
- Perales López, J. & Romero Barriga, J. (2005) Procesamiento conjunto de lenguaje e imágenes en contextos didácticos: una aproximación cognitiva. *Anales de Psicología, Norteamérica*. Disponible en: <<http://revistas.um.es/analesps/article/view/27231>>. Consultado el 20 de junio de 2013.
- Pérez de Eulate, L., Llorente, E. & Andrieu, A. (1999). Las imágenes de digestión y excreción en los textos de Primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2) 165-178.
- Pogré, P. & Lombardi, G. (2004). Escuelas que enseñan a pensar: Enseñanza para la comprensión. Un Marco teórico para la acción. Buenos Aires: Papers Editores.
- Purves, W., Sadava, D., Orians, G. & Heller, H.C. (2002). Vida. 6ta ed. México: Médica Panamericana.

Rodríguez Palmero, M. L. (2000). Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza de la biología y la investigación en el estudio de la célula. *Investigações em Ensino de Ciências* 5 (3): 237-263.

Ruiz de Miera, A. & Rosado, L. (1988). Los diagramas conceptuales en la Didáctica de las Ciencias. Su construcción y su uso. En: Cañal, P. y Porlán, R. (Comp.). El profesor y la experimentación curricular. Actas VI Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela. Sevilla: Diada, 46-52.

Stone Wiske, M. (Comp.). (1999). La enseñanza para la comprensión. Buenos Aires: Paidós.

ANEXOS

Anexo I

Artículos periodísticos utilizados en la clase 1 de la secuencia didáctica

19 ABR 09 | Tres de cada diez tests dan negativo

Cada vez más hombres piden examen de ADN

Para asegurar su paternidad.

A partir de las dudas sobre el lazo sanguíneo con sus hijos, creció la cifra de varones que pidieron chequear su paternidad a través del ADN. El 90% de los casos se resuelve en forma privada, mientras que la vía judicial interviene apenas en el 10% restante. Los especialistas explican que el tema dejó de ser tabú y por eso se animan cada vez más a hacerse el estudio.

El 30% de ellos demuestra que no son los verdaderos padres.

Por Silvina Herrera

Paternidad. Se multiplican los casos de varones que dudan.

A veces un sentimiento de incertidumbre puede perseguir a un hombre hasta volverse insoportable. Para terminar con las dudas sobre la relación filial, los hombres se animan cada vez más a realizarse un test de ADN para confirmar su paternidad. Según los distintos laboratorios consultados, en los últimos años creció un 25% la cantidad de hombres que recurren a este tipo de estudios.

Los exámenes de ADN se realizan en el país desde 1987 y surgieron en un principio como una herramienta utilizada en la búsqueda de hijos de desaparecidos durante la última dictadura militar.

A partir de la década de los 90 comenzaron a propagarse los casos de famosos que recurrían a un examen de paternidad para determinar la relación biológica con un supuesto hijo. Diego Maradona y Carlos Menem fueron algunos de los personajes conocidos que aceptaron recurrir al test de ADN. Por ser nombres con trascendencia pública, pronto los estudios de paternidad se volvieron un recurso más difundido y conocido. El último caso público fue el del chico inglés de 13 años, Alfie Patten, que descubrió que su novia, de 15 años, en realidad había tenido un hijo de otro.

Método conocido.

Eduardo Raimondi, director del Primer Centro Argentino de Inmunogenética

(Pricai), que funciona en la Fundación Favaloro, sostuvo en diálogo con PERFIL: “Ahora se conoce más el método; el hombre comenzó a darse cuenta de que la mujer también es infiel, hay una conciencia del hombre que antes no existía”. Raimondi indicó que el 30% de los exámenes de ADN da negativo, o sea que el hombre no es el padre, como creía.

Viviana Bernard, directora del laboratorio Genda, corroboró que la demanda de los tests de ADN aumentó y ahora hay más centros que realizan los estudios y compiten entre sí. “Cuando un hombre va, y quiere saber, es porque hay algún problema”, aseguró, y agregó que también se dan otras situaciones, como una mujer que duda sobre quién es el padre de su hijo o busca que el hombre reconozca al menor. “Lo más raro fue un caso de dos medio hermanos que se enamoraron, y después se dieron cuenta de que no eran hermanos, y fue un alivio. Hay situaciones que parecen ficticias, pero son reales”, dijo Bernard.

Andrea Puppio, directora de Estudios Genéticos, indicó que los hombres “vienen a buscar una verdad biológica, no quiere decir que el vínculo se rompa luego”. Lo que buscan quienes se realizan estos exámenes es saber la verdad. “Conocer la identidad siempre es necesario, y cuando se sacan ese peso de encima, se liberan”, sostuvo Puppio.

Cada examen de ADN cuesta 1.500 pesos y en el 90% de los casos se realizan en forma privada. Por la vía judicial sólo llega el 10% de las consultas.

Reconocimiento. Muchas veces, a pesar de corroborar que el niño que criaron como un hijo en realidad no es propio, los hombres reconocen al menor porque ya existe un vínculo afectivo que ni la biología puede borrar.

Los directores de los laboratorios consultados afirmaron que en estos casos la bronca del hombre se traslada a la madre del chico, y a veces hasta reaccionan con violencia cuando se enteran de que su mujer les mintió durante años. Raimondi contó que según su experiencia “no se altera el sentimiento de paternidad y los hombres no desaparecen”.

El abogado de familia Osvaldo Ortemberg explicó que si el hombre determina que su hijo en realidad no es propio, puede recurrir a un juicio por impugnación de paternidad. El juez suele pedir otro test de ADN y, si se comprueba, “se revoca la filiación como figura, el chico pierde el apellido del padre y pasa a tener el de la madre”.

Ortemberg aseguró que son casos que se dan con muy poca frecuencia porque, aunque no haya una relación biológica, existe el vínculo afectivo. “Si el chico tiene más de seis meses, ya existe una relación emocional y lo que sostiene la relación es el afecto”, afirmó el abogado.

Test por delivery y apoyo psicológico

Si un hombre quiere confirmar su paternidad, ya ni necesita moverse de su casa. Puede enviar una muestra suya y de su presunto hijo por correo al Laboratorio de Estudios Genéticos Aplicados de la Universidad de Quilmes, y al tiempo llegará el resultado. Ni siquiera es necesario identificarse. Este kit de análisis de ADN ya generó polémica por lo despersonalizado que resulta en una situación que requeriría de apoyo emocional y psicológico.

El médico psicoanalista y miembro titular de la Asociación Psicoanalista Argentina (APA) Pedro Horvat indicó que hacerse un test de ADN “produce una crisis profunda en los vínculos de la familia y mucho daño, porque presupone una posición muy fuerte de un hombre celoso al que le cuesta aceptarse como padre”. Horvat aseguró que “también daña mucho al hijo, porque supone la sensación de no ser aceptado, de verse rechazado”. Para el experto, la reacción siempre depende de lo que lo llevó a dudar: “Se espera que pueda predominar el vínculo construido a lo largo de los años. En algunos casos la ofensa narcisista es tan enorme que el vínculo se rompe. La persona no puede tolerar la injuria”.

La compleja tarea de realizar un examen de ADN

Los hermanos Noble Herrera entregaron sus muestras en el Banco de Datos Genéticos

Científicos explican los pasos del análisis

Por **Víctor Ingrassia** | LA NACION

En pleno siglo XXI, el examen de ADN (ácido desoxirribonucleico) constituye la manera más precisa y contundente de determinar la identificación de un cuerpo, el linaje de varias generaciones, la historia de una raza, o la simple paternidad de una persona.

Utilizado en ámbitos científicos, en el campo de la ingeniería genética, y en investigaciones forenses, biológicas y médicas en general, este examen de por sí complejo, es todo un desafío para los pocos expertos que lo realizan en la Argentina.

Esta compleja tarea de los científicos se utilizó para ayudar a determinar identificaciones de personas en casos emblemáticos que ocurrieron en la Argentina, como el atentado a la Embajada de Israel o la AMIA, el accidente aéreo de LAPA o de SOL , el misterio de la hija de Perón , de los casos policiales de María Marta García Belsunce, Nora Dalmasso . Y actualmente se aplicará para intentar resolver el litigio que llevan adelante las Abuelas de Plaza de Mayo y dos familias querellantes para determinar la filiación de Marcela y Felipe Noble Herrera .

Con el fin de determinar cómo se realiza este complejo examen de ADN, un material biológico que se halla presente en todas las células de un organismo, vivas o muertas, sangre, semen, pelos, uñas, dientes, huesos, y a partir del que se puede definir la identidad biológica única de una persona, de un animal o de una planta, **lanacion.com** habló con investigadores en los que recae el peso de estudiar si una personas es 99,9% o 0% hijo o padre de otra.

"El primer paso para un examen de ADN para determinar el vínculo de paternidad es realizar el proceso de extracción de material genético a partir de una muestra de sangre o de un hisopado de la mucosa bucal a partir del que se obtienen células de descamación. Las células presentes en la sangre (globulos blancos) o en el epitelio bucal proveerán el material genético requerido para el estudio", indicó Daniel Corach, médico genetista a cargo del Servicio de Huellas Digitales Genéticas de la Universidad de Buenos Aires , que agregó que la ruptura de las células, mediante el empleo de compuestos químicos, facilita la liberación del ADN disociándolo de proteínas contaminantes. "El ADN celular extraído incluye tanto aquel presente en los cromosomas ubicados en el núcleo de la célula como aquel presente en las mitocondrias presentes en el citoplasma celular", puntualizó.

"Una vez que tenemos el ADN puro, comienza lo que se llama proceso de amplificación. Para saber, por ejemplo, si una persona es hija de otra, se analizan regiones variables ubicadas en el ADN. Mediante una reacción enzimática denominada Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) se amplifican algunas regiones reconocidas como marcadores de identificación, llamados microstélites o repeticiones en tandem cortas", aclaró Corach, que es profesor en la cátedra de Genética y Biología Molecular de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA e investigador del Conicet.

El segundo paso que explica el experto es que se realiza una vez que están amplificadas las 13 o hasta 23 regiones del genoma humano, ya que se pueden copiar los fragmentos que se van a utilizar para implementar los sistemas de detección a través de fluorocromos (colorantes que permiten identificar diferentes marcadores en forma simultánea, como una característica física). A través de la estimulación por láser se genera un perfil genético que podrá ser comparado con la persona o el banco genético.

El tercer paso consiste en el "revelado", en el que se comparan las bandas genéticas a ver si hay coincidencia con las trazadas en el ADN del segundo individuo. Si se comparten varias bandas o calles y se repite para todos los genes utilizados, el examen da positivo.

La doctora Primarosa Chieri, médica genetista y directora del Laboratorio de Estudios Genéticos Primagen, explicó a **lanacion.com** que las muestras a examinarse en el laboratorio se introducen en un secuenciador automático que busca segmentos de diversos marcadores genéticos llamados STR de ADN genómico, los cuales no codifican y solamente se utilizan para realizar una prueba de identidad.

"Se puede realizar un estudio más complejo y determinado en el que se busca el ADN mitocondrial, un gen que lo transmite la madre a sus hijos y se lo utiliza por ejemplo cuando hay un padre fallecido, ya que se puede investigar el linaje materno. En el caso de una persona desaparecida, se busca que una prima o una tía tengan el mismo ADN mitocondrial para identificarlo. Cuanto más familiares hay, más preciso es", indicó la experta, que también es médica legista.

Tiempos. La demora de un examen de ADN por paternidad, en los que también se analizan las contrapruebas, es de entre una y dos semanas, aunque si se quiere determinar la filiación de una persona con otra, en forma urgente puede tardar como mucho 24 horas, según los expertos.

Respecto a las muestras de ADN que le tomarán a Marcela y Felipe Noble Herrera, las mismas se cruzarán con las de las dos familias querellantes del juicio, que forman parte de las 250 familias de desaparecidos que buscan a niños secuestrados junto a sus padres o nacidos durante el cautiverio de sus madres, en tiempos de la última dictadura militar.

Todas estas muestras se concentran desde el año 1984 en el Banco Nacional de Datos Genéticos (BNDG), un organismo autónomo y autárquico que se halla en el hospital Durand, en la ciudad de Buenos Aires y es dirigido por Belén Rodríguez Cardozo, que trabaja allí desde hace 18 años. Su archivo contiene miles de muestras, porque por cada familia hay información genética de abuelos, tíos, hermanos o de otros parientes de quien se busca.

Las muestras depositadas en el Hospital Durand son cerca de 11.300, de las cuales, poco más de 3500 corresponderían a víctimas de supresión de estado civil y desaparición forzada de personas entre 1974 y 1983. El resto son los datos genéticos obtenidos de restos cadavéricos mediante la exhumación de los mismos en causas judiciales sin vinculación con desaparición forzada y/o supresión de estado civil. También de personas vinculadas a causas judiciales civiles o criminales, presentación anticipada de un juicio de filiación común o particular y aquellos cuya intención ha sido la de dejar su muestra de ADN en resguardo de su patrón genético.

La ley 26.548, de 2009, especifica que "cualquier familiar directo de personas desaparecidas o presuntamente nacidas en cautiverio tendrá derecho a solicitar y a obtener los servicios del Banco Nacional de Datos Genéticos". Pero deben cumplir un trámite previo. Sólo ingresan en el archivo los casos remitidos por la Justicia o por la Comisión Nacional por el Derecho a la Identidad (Conadi), que funciona en el ámbito del Ministerio de Justicia y está integrado por representantes del Poder Ejecutivo, del Ministerio Público y de las Abuelas de Plaza de Mayo, que promovieron su creación

Junio 2011

Anexo II

Página 12

Sábado, 8 de enero de 2011

futuro***Los telomeros, el envejecimiento celular y la vida eterna***

Reloj de cromatina

En las células eucariotas –por ejemplo, las células humanas– los extremos terminales de los cromosomas cumplen funciones reguladoras de los ciclos de vida celulares. En la actualidad, de la mano de nuevas y más eficientes técnicas de análisis, esos fragmentos han renovado su vigencia como objeto de investigación.

Por Jorge Forno**HERMANN JOSEPH MULLER (1890-1967).**

En las zonas templadas, un buen método para conocer la edad de los árboles es el conteo de los círculos concéntricos formados en el interior de sus troncos. Si las estaciones son bien diferenciadas en materia climática y el crecimiento de las plantas disminuye en invierno, estos círculos pueden ser distinguidos fácilmente y cada uno de ellos representa un año de antigüedad en la vida del árbol. Claro que si el árbol pudiera hablar no viviría para contarlos, ya que para saber su edad por este método debe ser previamente talado. La presencia de gran cantidad de círculos concéntricos es muestra de que el árbol ha vivido, y en ocasiones

mucho, para asombro y envidia de los *homo sapiens*. Es que los humanos somos a veces muy obsesivos con el tema del envejecimiento, y buscamos afanosamente los secretos de la longevidad, de formas más o menos racionales, según las épocas y las circunstancias sociales, culturales y personales.

En la actualidad, nuevos y cada vez más efectivos métodos permiten escudriñar los tesoros de la genética humana. En medio de la frenética búsqueda abierta por las recientes técnicas de secuenciación y ensamble de ADN, no pocos grupos de científicos se lanzaron a rastrear los esquivos misterios del envejecimiento, que en parte pueden estar encerrados en unas regiones muy particulares de los cromosomas, llamadas telómeros. Las investigaciones traen un amplio surtido de promesas. Desde nuevos y efectivos tratamientos médicos o el retraso del envejecimiento hasta un test para conocer la edad biológica de una persona, por cierto menos cruento que el que se aplica a los pobres árboles. Se trata de una tarea muchísimo más compleja que contar círculos concéntricos, pero que comienza a ser posible con conocimientos biotecnológicos e informáticos propios del naciente siglo XXI.

La mosca y el Nobel

Los telómeros fueron descubiertos por Hermann Joseph Muller, un científico estadounidense que trabajaba en el Instituto de Genética Animal de Edimburgo, en experimentos de radiación con rayos X. Muller fue un verdadero trotamundos de la ciencia. Desde 1920 trabajó en temas de zoología y genética en la Universidad de Columbia. Por su ideología cercana al comunismo, debió emprender una salida poco amistosa de su país natal, que lo llevó a emigrar a la Unión Soviética. Allí, desde 1933 a 1937 trabajó como genetista en el Instituto de Genética de Moscú, junto con un inquieto grupo de investigación. Pero tuvo la mala suerte de investigar en medio de la controversia entre la llamada genética proletaria que desarrollaba Trofim Denisovich Lysenko –un ingeniero agrónomo que experimentaba técnicas para mejorar la maltrecha agricultura soviética– y la nada inocentemente bautizada “genética burguesa”, justamente la que ocupaba al bueno de Hermann. Stalin se inclinó por Lysenko y Muller no tuvo más remedio que partir nuevamente al mundo capitalista, con un paso previo como colaborador del bando republicano en el frente de la Guerra Civil Española. Ya radicado en Edimburgo, Muller observó en una especie de moscas, conocida como *Drosophila melanogaster*, que la radiación afectaba casi la totalidad de sus cromosomas, provocando cambios tales como mutaciones o deleciones, pero que los extremos del material genético conservaban su integridad. Esta región de los cromosomas fue denominada por Muller como “gen terminal” y luego –con un poco más de creatividad– bautizada como telómero, combinando dos términos provenientes del griego: *telos*, que significa “fin”, y *meros*, que significa “parte”. En 1946 Muller recibió el Premio Nobel por sus estudios sobre la radiación y sus efectos sobre las células.

Pocos años después de que Muller hallara el gen terminal, Barbara McClintock, investigadora de la Universidad de Missouri, se metió con el asunto y concluyó que los telómeros tenían una función trascendental en la integridad de los cromosomas. McClintock

también ganó un Premio Nobel por sus trabajos en el campo de la genética y la fisiología, pero recién en 1983.

Los telómeros son propios de las células eucariotas, el tipo de célula que compartimos los humanos, las moscas –como las que estudió Muller–, las plantas y los hongos, y que tienen como característica principal conservar el material genético encerrado en un contenedor llamado núcleo. En las bacterias y otros organismos –conocidos como procariotas–, el material genético se encuentra sin contenedor alguno en el citoplasma, y está agrupado en una zona llamada nucleóide. Los cromosomas de los procariotas son circulares y por ello carecen de telómeros.

EL ANGEL GUARDIAN DE LOS TELOMEROS

En los primeros años del siglo XXI, se generó una batería de herramientas para la secuenciación y ensamble del ADN que permite procesar de manera rápida gran cantidad de muestras. Durante más de cincuenta años los telómeros habían sido reconocidos como unas estructuras que protegen los extremos de los cromosomas y que participan en los procesos del envejecimiento. En cada ciclo de reproducción celular los telómeros se van acortando, y marcan como un cronómetro biológico el camino de la línea celular hacia su irremediable muerte. Las nuevas técnicas de estudio permitieron avanzar sobre los mecanismos involucrados en la implacable función reguladora de estas estructuras cromosómicas.

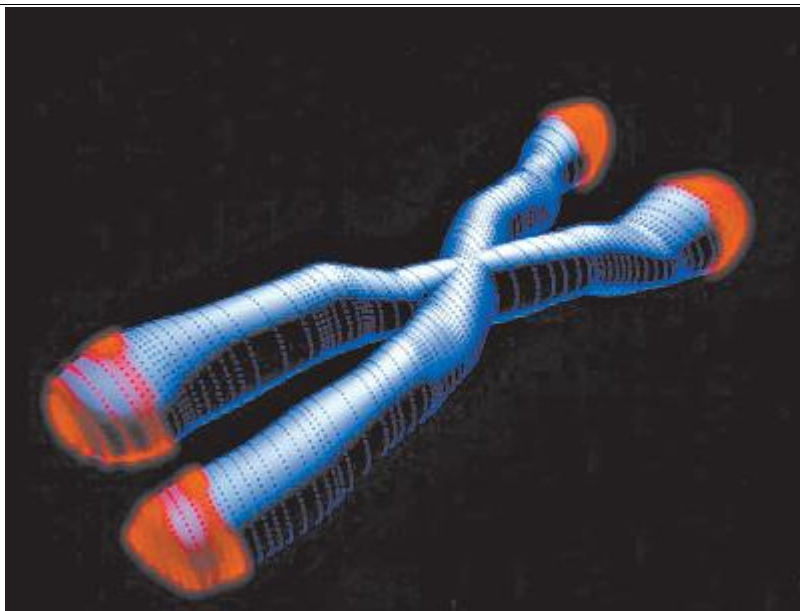
En 2009, los telómeros volvieron a adquirir fama mediática por obra y gracia de la Fundación Nobel. Los investigadores estadounidenses Elizabeth H. Blackburn, Carol Creider y Jack W. Szostak fueron distinguidos con el Premio Nobel de Medicina 2009 por sus hallazgos relacionados con una enzima, llamada telomerasa, que actúa como un efectivo guardián de los telómeros, permitiéndoles conservar su longitud y retrasar los procesos de envejecimiento celular. La telomerasa está presente naturalmente en las células madre o germinales, pero en las células somáticas o adultas es reprimida –bioquímicamente hablando–, dejando sin protección a los telómeros, que se acortan en cada división celular. El galardón –además de algunos momentos de gloria para los investigadores, acompañados de unos nada despreciables miles de coronas suecas– desató una galería de especulaciones rimbombantes acerca de la cuestión del envejecimiento. Si se pudiera detener el reloj biológico de las células aumentando el número de posibles divisiones celulares, el camino del hombre hacia una larga vida –y por qué no la inmortalidad– estaría al alcance de la mano. Pero, para bien o para mal, las cosas de la ciencia suelen no ser tan sencillas. Modificar la programación original de las células es verdaderamente jugar con fuego. Se debe tener en cuenta que las líneas de células “inmortales”, en lugar de retrasar el envejecimiento, suelen ser protagonistas de enfermedades que constituyen problemas médicos de grandes proporciones, como el cáncer. En el caso de esta enfermedad, en lugar de conseguir células inmortales se trataría de intervenir en el mecanismo de acción de la telomerasa para hacerlas comúnmente mortales. Un conocimiento más profundo de los mecanismos celulares implicados en la vida y muerte celular podría tener una importancia crucial en su prevención y tratamiento.

LAS CLAVES DE LA LONGEVIDAD

Las técnicas que mezclan secuenciamientos parciales de grandes cantidades de ADN y cálculos probabilísticos informatizados son herramientas que han permitido analizar enormes volúmenes de información genética y en 2010 se publicaron algunos trabajos relacionados con la función de los telómeros y la enzima telomerasa. Un artículo aparecido en Science mostraba una investigación colaborativa entre científicos de la Universidad de Boston y del Instituto de Tecnología Biomédica de Italia. El trabajo extrapolaba datos obtenidos de una amplia muestra de personas centenarias –más de 1000 personas–, y describía presuntos marcadores genéticos que podrían encerrar las claves de la longevidad, varios de ellos relacionados con la longitud de los telómeros. Los resultados del trabajo son muy provisionales, pero los investigadores se atrevieron a elaborar un conjunto –también muy provisional– de predictores genéticos de longevidad, no sin antes dejar en claro que los factores ambientales también son relevantes. Podemos tener muy buenos genes, pero desperdiciados obstinadamente con prácticas no saludables.

El conocimiento de la bioquímica de los telómeros tendría aplicaciones médicas en el tratamiento de patologías menos impactantes en lo mediático, como por ejemplo la disqueratosis congénita, una enfermedad que provoca envejecimiento prematuro por la disfunción de la telomerasa. En la revista Nature de noviembre de 2010 se publicó una investigación realizada en el Dana Farber Cancer Institute de Harvard, en la que un grupo de científicos afirma haber logrado revertir el envejecimiento en ratones. Un experimento prometedor que, según los autores, podría en el futuro ser extendido a los humanos.

Como vemos, las investigaciones acerca del tamaño de los telómeros, la enzima telomerasa y sus moduladores bioquímicos son actualmente estrellas en el firmamento de la genética, y seguramente protagonizarán muchas noticias científicas en los próximos años. Un área de investigación que, más aún tratándose del envejecimiento, podemos considerar tan joven que todavía está en pañales.



EL FINAL DE LOS CROMOSOMAS DE LAS CELULAS EUCARIOTAS ES CONOCIDO COMO TELOMERO.

© 2000-2012 www.pagina12.com.ar|República Argentina|Todos los Derechos Reservados